Prof. dr. ing. ANTON IONESCU

Șef lucrări dr. ing. CĂLIN MIRCEA

MANUAL

Pentru proiectarea plăcilor plane dreptunghiulare din beton armat

Prescripții de proiectare, calcul static,
exemple de calcul și detalii de alcătuire constructivă

Domnului profesor Mircea Petrina,
Cu stimă și considerație.

©RISOPRINT

Copyright © 1997 by RISOPRINT. All rights reserved. Printed in Romania No parts of this publication may be reproduced or distributed in any form or by any means, or stored in a data base or retrievial system, without the prior permission of the publisher.

Copyright © 1997 by RISOPRINT. Toate drepturile rezervate. Tipărit în România. Nici o parte din această lucrare nu poate fi reprodusă sub nici o formă, prin nici un mijloc mecanic sau electronic, sau stocată într-o bază de date fără acordul în prealabil, în scris, al editurii.

Director: POP GHEORGHE
Consilier editorial: OPREA NICOLAE

ISBN 973-9298-78-8
Descriere CIP: 624.012.45

Tiparul executat la: S.C. CRISTAL PRINT S.R.L.
Str. C. Brâncuşi nr. 29
3400 Cluj-Napoca
Tel/Fax: 064-149487

Cuvânt înainte

În general, proiectarea construcţiilor civile şi industriale începe cu proiectarea planşeelor, deoarece acestea sunt primele subansamble structurale care preiau direct încărcările permanente şi temporare pentru care au fost concepute respectivele construcţii.

Planşeele înglobează aproximativ 70% din cantităţile de beton şi oţel ale structurilor în cadre şi este deci evidentă necesitatea acordării unei atenţii deosebite concepţiei lor structurale pentru asigurarea unei comportări mecanice corecte în cadrul structurilor şi pentru realizarea unor soluţii economice.

Plăcile dreptunghiulare din beton armat, independente şi continui, constituie cele mai simple şi totodată cele mai frecvent utilizate subansamble structurale ale planşeelor curente iar scopul manualului de faţă este să pună la dispoziţia celor interesaţi modelele teoretice şi practice de proiectare a acestora, atât după normele româneşti cât şi după prevederile EUROCODULUI 2.

Lucrarea este destinată atât studenţilor cât şi inginerilor constructori proiectanţi de structuri.

Autorii

1. ASPECTE GENERALE PRIVIND PROIECTAREA PLĂCILOR DIN BETON ARMAT

1.1 Generalități

Plăcile sunt elemente structurale care au două dimensiuni mari (deschiderile) în raport cu o a treia (grosimea), fiind definite geometric prin suprafața mediană și grosime. Prevederile generale de calcul ale plăcilor din beton armat sunt prezentate în STAS 10107/1-77 [1]. Alcătuirea constructivă, dimensionarea și verificarea plăcilor din beton armat trebuie efectuate în baza prevederilor STAS 10107/0-90 [2].

În planșeele curente din beton armat, plăcile au deschideri mai mari decât 70 cm și reazeme liniare (grinzi, zidărie, diafragme de beton). Metodele și prevederile de calcul pentru acestea sunt cuprinse în STAS 10107/2-77 [3]. În practica de proiectare însă, se întâlnesc și plăci de forme oarecare și plăci cu reazeme punctuale, pentru care există elaborate procedee de calcul în literatura de specialitate.

Din punctul de vedere al comportării mecanice plăcile se clasifică în plăci armate pe o direcție (fig. 1.1) și plăci armate pe două direcții (fig. 1.2):

- plăcile independente armate pe o direcție sunt:
  - plăcile încastrate pe o latură și libere pe celelalte laturi, armătura de rezistență dispunându-se perpendicular pe latura încastrată (fig. 1.1.a);
  - plăcile rezemate pe două laturi paralele și libere pe celelalte două laturi, la care armătura de rezistență se dispune perpendicular pe direcția laturilor rezemate (fig. 1.1.b);
  - plăcile cu raportul între latura lungă și latura scurtă mai mare decât doi, la care armătura de rezistență se dispune paralel cu direcția laturilor scurte (fig. 1.1.c, d, e, f);
- plăcile independente armate pe două direcții sunt:
  - plăcile dreptunghiulare care au raportul între latura lungă și latura scurtă mai mic sau egal cu doi (fig. 1.2.a, b, c);
  - plăci de formă oarecare (fig. 1.2.d, e, f).

Din punctul de vedere al tehnologiei de execuție plăcile se clasifică în:

- plăci monolite;
- plăci prefabricate;
- plăci mixte.

Plăcile care se încadrează în condițiile geometrice specifice plăcilor dreptunghiulare armate pe două direcții, acționate de încărcări relativ reduse și cu raportul laturilor apropiat de doi, pot fi tratate ca plăci armate pe o direcție dacă această soluție conduce la un consum total de armătură mai redus decât în cazul armării pe ambele direcții (în acest caz condițiile constructive de dispunere a armăturii de rezistență pe deschiderea cea mai mare de calcul pot fi mai severe decât cele corespunzătoare armăturii de repartiție, pe direcția cea mai mică de calcul neexistând diferențe semnificative pentru armătura de rezistență).

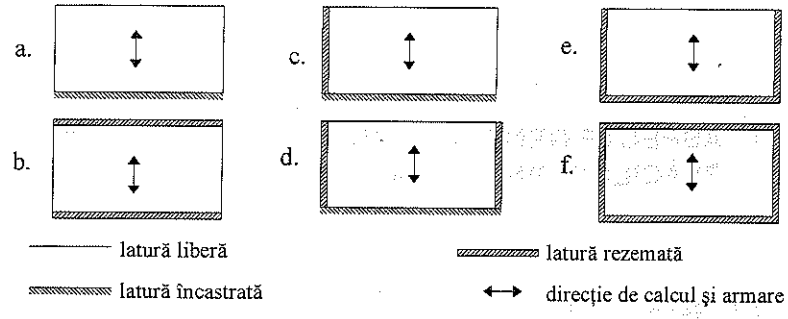


Fig. 1.1

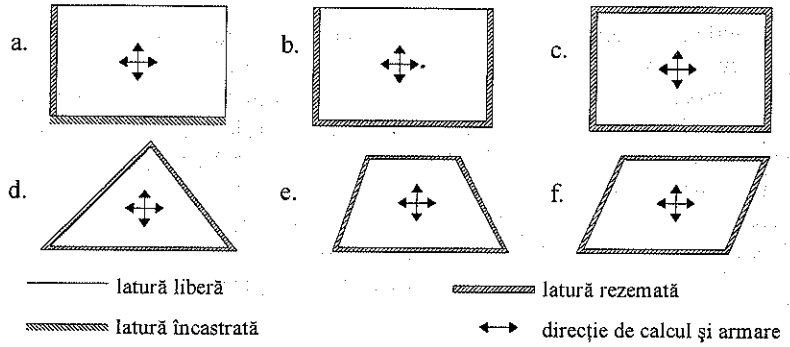


Fig. 1.2

Plăcile sunt solicitate cu precădere la eforturi de încovoiere. Deoarece plăcile intră în categoria elementelor încovoiate lungi, având raportul între grosime şi deschidere redus, influența forței tăietoare este de importanță secundară.

1.2 Prevederi generale pentru calculul plăcilor

1.2.1 Reazemele plăcilor. Deschideri de calcul

În calcule, rezemările plăcilor se pot considera:

- cu legătură monolită (fig. 1.3.a);
- fără legătură monolită (fig. 1.3.b şi c).

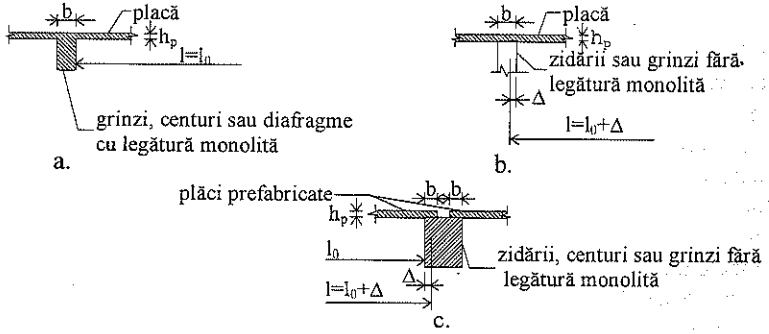


Fig. 1.3

În calcule, reazemele marginale ale plăcilor se pot considera simple rezemări dacă placa:

- reazemă direct sau prin intermediul unei centuri pe zidărie, fără ca peretele să fie continuat deasupra plăcii;
- reazemă pe zidărie cu o grosime mai mică decât 250 mm sau $1,5h_p$ prin intermediul unei centuri, chiar dacă peretele continuă deasupra plăcii;
- reazemă pe zidărie sau o grindă, fără legătură monolită.

Reazemele marginale se pot considera încastrări dacă placa:

- reazemă direct sau prin intermediul unei centuri pe zidărie care continuă pe înălțime cel puțin încă un nivel, iar lungimea de rezemare este mai mare decât 250 mm sau $2h_p$;
- reazemă pe grinzi sau diafragme cu legături monolite (inclusiv legăturile plăcilor prefabricate după restabilirea monolitismului).

Momentele încovoietoare de încastrare perfectă în zidărie se iau în considerare astfel:

- cu un efect de 100% pentru calculul momentului în secțiunea de încastrare;
- cu un efect de 50% pentru calculul momentului în câmpul plăcii.

Deschiderile de calcul se consideră după cum urmează:

- în cazul legăturii monolite, deschiderea de calcul se măsoară de la fața laterală a grinzii, centurii sau diafragmei;
- dacă legătura nu este monolită, deschiderea de calcul se măsoară de la fața zidului sau grinzii, adăugându-se pe fiecare parte lungimea Δ cu valoarea (vezi fig. 1.3.b şi c):

$$\Delta = \frac{h_p}{2} \le \frac{b}{2} \qquad (1.1)$$

1.2.2 Metode de analiză

Determinarea solicitărilor în plăci poate fi efectuată printr-un calcul static:

- în domeniul elastic;
- simplificat în domeniul plastic;
- în domeniul plastic, prin modificarea rezultatelor calculului în domeniul elastic.

Determinarea eforturilor în secțiunile critice ale plăcilor în condițiile stării limită ultime de rezistență (S.L.U.R.) se recomandă a se efectua considerând un modul de rigiditate constant şi un calcul static după cum urmează:

- în domeniul elastic:
  - la plăcile solicitate de încărcări tehnologice cu caracter dinamic -*dimensionarea ca urmare a unui calculul în domeniul elastic conduce la o concentrare a armăturii de rezistență pe reazeme, crescând astfel rigiditatea de ansamblu a plăcilor; astfel, acestea vor prezenta săgeți mai reduse în exploatare şi caracteristicile lor de vibrație vor permite o amortizare mai rapidă a vibrațiilor induse*;
  - la plăcile continue sau independente care au cel puțin o latură încastrată şi la care raportul v dintre încărcarea de lungă durată şi încărcarea totală de exploatare este mai mare decât 0,75 ($v=q^{ld}/q^{n}>0,75$) -*în acest caz deformațiile de lungă durată ale betonului datorate contracției şi curgerii lente conduc la stări de eforturi parazite şi deformații excesive în câmpul plăcilor; creşterea rigidității de ansamblu a plăcilor datorată unui calcul în domeniul elastic conduce în exploatare la săgeți mai reduse şi o stare de fisurare în câmp mai puțin pronunțată*;

– când nu se pot aplica metode simplificate de calcul în domeniul plastic -*de regulă aceste calcule conduc la consumuri suplimentare de armătură (cu excepția plăcilor simplu rezemate) sau la distribuții ale acestora care nu se asociază mecanismelor de cedare corecte.*

• simplificat în domeniul plastic:

– ori de câte ori se pot aplica procedeele de calcul prezentate în subcapitolele 2.3, 3.3 și 4.2 -*prin astfel de calcule se obțin distribuții mai eficiente a armăturii de rezistență în câmpuri și pe reazeme, corelate cu mecanismele de cedare.*

• în domeniul plastic, prin modificarea rezultatelor calculului în domeniul elastic:

– atunci când rezultă avantaje tehnico-economice în comparație cu situația rezultată printr-un calcul în domeniul elastic -*de regulă aceste calcule conduc la reduceri ale consumurilor de oțel și dispuneri mai eficiente a armăturilor, asociate mecanismelor de cedare.*

Verificările în condițiile stării limită ultime de oboseală (S.L.U.O.) se vor efectua pe baza unui calcul static:

• în domeniul elastic:

– deoarece în acest caz plăcile sunt solicitate de încărcări tehnologice cu caracter dinamic -*degradarea proprietăților de rezistență ale materialelor structurale (beton și oțel) are loc cu preponderență pe o schemă statică corespunzătoare domeniului elastic de comportare.*

Pentru verificările în condițiile stărilor limită ale exploatării normale (S.L.E.N.) calculul static se va efectua:

• în domeniul elastic:

– la plăcile la care sunt necesare condiții de aspect și de protecție a armăturii împotriva coroziunii, precum și la plăcile aflate în contact direct cu lichide în vederea asigurării etanșeității -*aceste condiții presupun o verificare la starea limită de deschidere a fisurilor*;

– la plăcile la care deformațiile excesive pot conduce la dereglări ale funcționalității, avarieri ale pereților despărțitori sau senzații neplăcute la circulație -*condiții care necesită o verificare la starea limită de deformație.*

Distribuția eforturilor în plăcile de beton armat în condițiile stării limită ultime de oboseală (S.L.U.O.) și a stărilor limită ale exploatării normale (S.L.E.N.) se stabilește în stadiul II de lucru astfel:

• la plăcile simplu rezemate și în general pentru porțiunile de moment încovoietor de același semn se va considera un modul de rigiditate EI constant;

• la plăcile continui sau independente unde condițiile de rezemare conduc la schimbări de semn ale momentelor:

– când valorile modulului de rigiditate EI calculate pentru zonele de moment pozitiv și respectiv negativ nu diferă cu mai mult de 50%, se admite să se ia în considerare o rigiditate cu valoare constantă, egală cu semisuma valorilor respective;

– când valorile EI calculate pentru zonele de moment pozitiv și respectiv negativ diferă cu mai mult de 50% se va lua în considerare redistribuirea eforturilor ca urmare a variației rigidității.

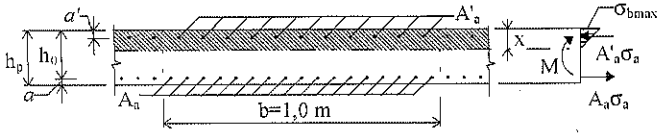


Fig. 1.4

Modulul de rigiditate la încovoiere se calculează considerând caracteristicile ideale ale secțiunii în stadiul II de lucru (fig. 1.4):

$$EI = E'_b \cdot I_{bi} \tag{1.2}$$

unde E'_b este valoarea corectată a modulului de elasticitate, pentru betonul greu calculată cu relația:

$$E'_b = \frac{0,8}{1+0,5\,v\cdot\overline{\varphi}} E_b \tag{1.3}$$

unde v este raportul dintre încărcarea de lungă durată și încărcarea totală de exploatare ($v=q^{ld}/q^n$), $\overline{\varphi}$ este caracteristica deformației în timp a betonului și E_b modulul de elasticitate al betonului pentru încărcări de scurtă durată (valoarea modulului tangent inițial).

Valoarea momentului de inerție al secțiunii ideale I_{bi} în stadiul II de lucru se calculează cu relația:

$$I_{bi} = I_{bc} + (n_e - 1)A'_a (x - a')^2 + n_e A_a (h_0 - x)^2 \tag{1.4}$$

în care I_{bc} este momentul de inerție al zonei comprimate de beton în raport cu axa neutră și $n_e = E_a/E'_b$ este coeficientul de echivalență.

Plăcile prefabricate monolitizate între ele se calculează astfel:

• la acțiunea încărcărilor permanente ce acționează înainte de realizarea continuității în îmbinări, pe scheme statice corespunzătoare fazei de montaj;

• la încărcările aplicate după realizarea continuității în îmbinări, pe scheme statice corespunzătoare fazei de exploatare.

Verificarea plăcilor se face la montaj pe schema statică și încărcările aferente, iar în exploatare la solicitările provenite din sumarea celor produse de încărcările permanente aplicate înainte de realizarea continuității în îmbinări (faza de montaj) cu solicitările produse de încărcările aplicate după realizarea continuizării (faza de exploatare).

Atât timp cât sunt respectate condițiile de rigiditate prezentate în paragraful 1.3.2 nu se ia în considerare în calcule stabilitatea locală și generală a plăcilor.

La panourile de plăci armate pe două direcții cu o suprafață mai mare decât 35 m^2, nu se acceptă considerarea în mod simplificat a influenței deformațiilor de lungă durată ale betonului asupra stării de eforturi și deformații. Aceste cazuri se recomandă a se evita.

În capitolele următoare este prezentat calculul plăcilor de beton armat efectuat cu gruparea fundamentală de încărcări la starea limită de rezistență. Pentru calculul la celelalte stări limită se vor utiliza grupările de încărcări aferente specificului fiecăreia, în conformitate cu prevederile STAS 10101/0-75 [4] și STAS 10101/0A-77 [5].

1.2.3 Plăci acționate de încărcări locale

Orice încărcare aplicată local pe suprafața unui dreptunghi cu laturile u și v (fig. 1.5) acționând direct pe fața superioară a unei plăci cu grosimea h_p sau indirect prin intermediul unui strat de repartiție de grosime h_r, poate fi echivalată pentru calculul la încovoiere al plăcii cu o încărcare uniform distribuită ce acționează în planul median al plăcii pe suprafața unui dreptunghi cu laturile:

$$\begin{aligned} u_t &= u + h_p + 2h_r \\ v_t &= v + h_p + 2h_r \end{aligned} \tag{1.5}$$

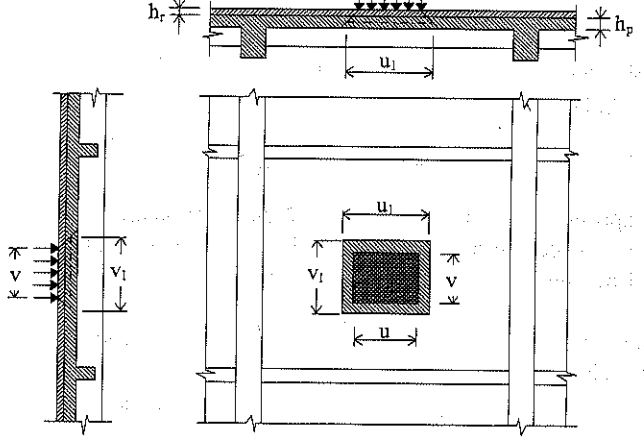


Fig. 1.5

Plăcile armate pe o direcție solicitate de încărcări locale se calculează la momente încovoietoare ca și o grindă cu lățimea b și înălțimea h_p (fig. 1.6.a). Lățimea grinzii este dată de relațiile:

$$b = max\left\{u_1; \frac{2}{3}l + \frac{u_1}{3}\right\} \tag{1.6}$$

în care l este deschiderea de calcul a plăcii. Pentru calculul la forță tăietoare lățimea de calcul se consideră egală cu b' (fig. 1.6.b), unde:

$$b' = max\left\{u_1; \frac{1}{3}l + \frac{1}{6}u_1\right\} \tag{1.7}$$

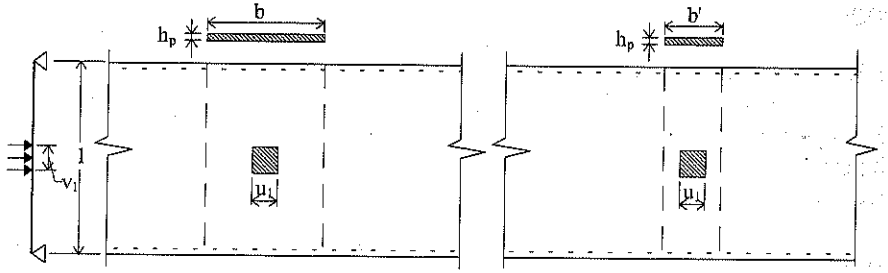


Fig. 1.6

În cazul plăcilor armate pe două direcții acționate de încărcări concentrate lățimile de calcul ale fâșiilor de pe cele două direcții (fig. 1.7) au expresiile:

$$\begin{aligned} b_1 &= max\left\{u_1; \frac{2}{3}l_2 + \frac{1}{3}u_1\right\} \\ b_2 &= max\left\{v_1; \frac{2}{3}l_1 + \frac{1}{3}v_1\right\} \end{aligned} \tag{1.8}$$

Cele două fâșii de placă vor fi încărcate cu sarcinile P_1 și respectiv P_2, unde:

$$P_1 + P_2 = P = q \cdot u \cdot v \tag{1.9}$$

determină rezolvând următorul sistem de ecuații:

$$\begin{cases} P_1 + P_2 = P \\ \delta_1 = \delta_2 \end{cases} \tag{1.10}$$

unde δ_1 și δ_2 sunt săgețile celor două fâșii în dreptul sarcinii concentrate P.

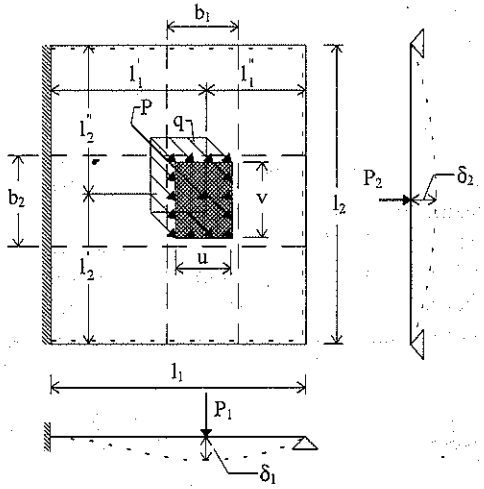


Fig. 1.7

Pentru a fi prevenită străpungerea plăcii, este necesar ca:

$$\overline{Q} = \frac{P}{U_{cr} \cdot h_0 \cdot R_t} \le 0{,}75 \tag{1.11}$$

unde:

$U_{cr} = 2(u_1 + v_1)$- perimetrul critic la străpungere, care se determină de asemenea în planul median al plăcii;

h_0- înălțimea utilă a secțiunii;

R_t- rezistența de calcul la întindere a betonului din placă.

1.2.4 Plăci cu goluri

În raport cu mărimea golurilor din plăci, se disting următoarele două situații:

- plăci cu goluri mici (fig. 1.8), care satisfac condițiile:
  - suprafața totală a golurilor nu depășește 5% din suprafața plăcii;
  - dimensiunile fiecărui gol, respectiv suma laturilor sau diametrelor golurilor decalate între ele, dacă sunt mai multe goluri, nu depășește 20% din latura respectivă a plăcii pe fiecare direcție:

$$\sum_{i=1}^{n} a_i \le \frac{1}{5}l_2; \quad \sum_{i=1}^{n} b_i \le \frac{1}{5}l_1 \tag{1.12}$$

unde n este numărul total de goluri (în figura 1.8 n=3).

- plăci cu goluri mari, adică plăci care nu se încadrează în condițiile care definesc plăcile cu goluri mici.

Calculul solicitărilor în cazul plăcilor cu goluri mici se efectuează ca la plăcile obișnuite fără goluri.

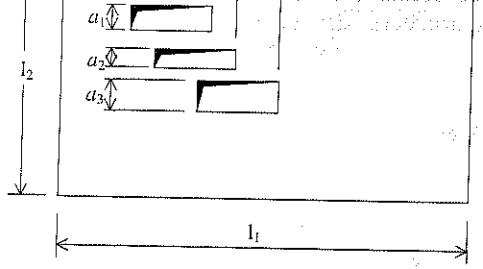


Fig. 1.8

Calculul solicitărilor în cazul plăcilor cu goluri mari se face cu programe de calcul specifice, bazate pe rezolvarea ecuațiilor de echilibru cu ajutorul relațiilor teoriei elasticității sau metoda elementului finit. Pentru calcule aproximative se pot adopta scheme de calcul simplificate; astfel în exemplul din figura 1.9, panourile P_1 şi P_2 se deformează liber împreună cu panourile P_3 şi P_4. Astfel pot fi considerate simplu rezemate pe acestea din urmă şi pe reazeme, respectiv fără rezemare în dreptul golului. Reacțiunile din rezemări se vor aplica în continuare panourilor P_3 şi P_4.

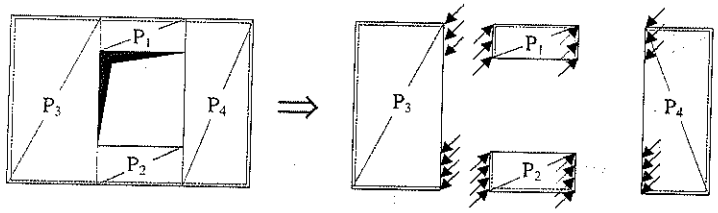


Fig. 1.9

1.2.5 Calculul reacțiunilor plăcilor

Reacțiunile plăcilor armate pe o direcție se repartizează reazemelor în conformitate cu regulile staticii construcțiilor, cu mențiunea că acestea reprezintă forțe distribuite pe unitatea de lungime.

Reacțiunile plăcilor armate pe două direcții solicitate de încărcări permanente şi temporare uniform distribuite, se determină considerând că reazemele preiau încărcările ce acționează pe panourile de placă aferente acestora, panouri delimitate de bisectoarele unghiurilor formate de laturile rezemate ale plăcilor. În cazul rezemărilor pe pereți de zidărie sau diafragme de beton armat, reacțiunile reprezentând o variație triunghiulară sau trapezoidală se pot transforma în reacțiuni uniform distribuite echivalente (fig. 1.10).

1.3 Prescripții constructive şi de armare

1.3.1 Stratul de acoperire cu beton

Din punctul de vedere al condițiilor de expunere la acțiunea intemperiilor şi umidității, în medii considerate fără agresivitate chimică, plăcile din beton armat pot face parte din trei categorii:

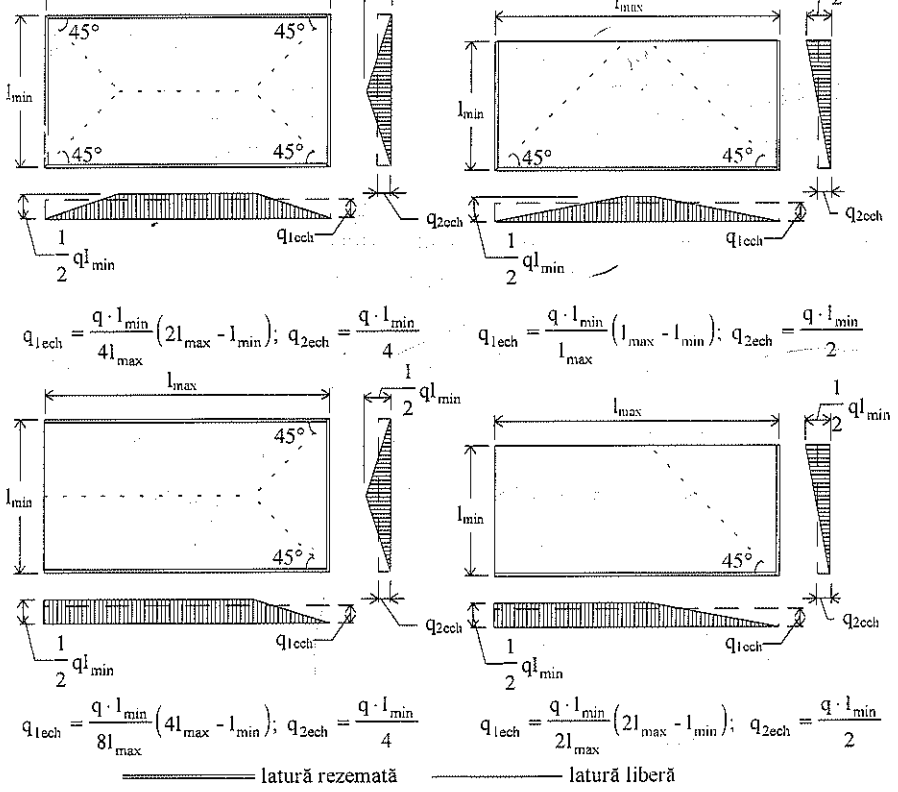

45°
l_{min}
l_{max}
q_{1ech}
q_{2ech}
$\frac{1}{2}ql_{min}$
$q_{1ech} = \frac{q \cdot l_{min}}{4l_{max}}(2l_{max} - l_{min})$; $q_{2ech} = \frac{q \cdot l_{min}}{4}$
$q_{1ech} = \frac{q \cdot l_{min}}{l_{max}}(l_{max} - l_{min})$; $q_{2ech} = \frac{q \cdot l_{min}}{2}$
$q_{1ech} = \frac{q \cdot l_{min}}{8l_{max}}(4l_{max} - l_{min})$; $q_{2ech} = \frac{q \cdot l_{min}}{4}$
$q_{1ech} = \frac{q \cdot l_{min}}{2l_{max}}(2l_{max} - l_{min})$; $q_{2ech} = \frac{q \cdot l_{min}}{2}$
latură rezemată
latură liberă

Fig. 1.10

- categoria I:
  - plăcile situate în spații închise (fețele spre interior ale plăcilor din clădirile civile şi halele industriale închise, cu umidități relative interioare de cel mult 75%);
- categoria II:
  - plăcile situate în aer liber, neprotejate, cu excepția celor expuse la îngheț şi dezgheț în stare umezită;
  - plăcile aflate în spații interioare cu umiditate relativă peste 75%;
- categoria III:
  - plăcile situate în aer liber, expuse la îngheț şi dezgheț în stare umezită;
  - plăcile situate în spațiile închise ale halelor industriale cu condens tehnologic (hale ce adăpostesc tehnologii cu degajări de abur, etc.);
  - fețele plăcilor în contact cu apa sau alte lichide fără agresivitate chimică;
  - fețele în contact cu pământul ale plăcilor prefabricate sau a celor monolite turnate pe beton de egalizare.

Valorile minime ale stratului de acoperire a armăturii pentru betoane de clasă ≥Bc 20 sunt date în tabelul 1.1 şi trebuie să fie egale cel puțin cu 1,2d (în care d este diametrul armăturilor de pe primul rând), dar nu mai mult de 50 mm. În cazul betoanelor de clasă Bc 10 şi Bc 15 valorile din tabel se sporesc cu 5 mm la elementele din categoriile II şi III.

Tipul de element	Grosimea minimă a stratului de acoperire cu beton pentru betoane de clasă ≥Bc 20 mm		
	I	II	III
Plăci plane	10	15	20

Grosimea stratului de acoperire cu beton la plăcile expuse agresivității chimice se stabilește printr-o analiză a următorilor factori:

- diametrul armăturilor;
- condițiile de expunere la intemperii și umidități ridicate;
- condițiile de expunere la agresivitatea chimică și natura agresivității chimice;
- clasa betonului;
- gradul de rezistență la foc prevăzut pentru construcție.

Grosimea stratului de acoperire cu beton se ia de regulă multiplu de 5 mm.

1.3.2 Grosimea plăcilor

Grosimea plăcilor trebuie să fie de regulă multiplu de 10 mm. Din considerente de rigiditate, grosimea minimă a plăcilor se va lua în funcție de deschiderea de calcul pe latura scurtă (l_2) astfel:

Plăci armate pe o direcție ($l_1/l_2 \geq 2$)

- $l_2/12$, plăci în consolă;
- $l_2/25$, rezemare simplă pe două laturi paralele;
- $l_2/30$, rezemare simplă pe tot conturul;
- $l_2/30$, încastrare elastică pe două laturi paralele;
- $l_2/35$, încastrare elastică pe tot conturul.

Plăci armate pe două direcții ($l_1/l_2 < 2$)

- $l_2/40$, rezemare simplă pe contur;
- $l_2/45$, încastrare elastică pe contur.

Din considerente tehnologice, grosimea minimă admisă este de 60 mm la plăcile monolite și 30 mm la plăcile prefabricate, în condițiile unui strat de acoperire cu beton de 10 mm, determinat în conformitate cu prevederile paragrafului precedent. Orice majorare a stratului de acoperire cu beton față de valoarea de 10 mm se va adăuga la grosimea minimă a plăcii. În cazuri speciale, grosimea plăcilor monolite poate fi redusă la 50 mm, cu condiția prevederii în proiect a măsurilor speciale necesare operațiunii de betonare.

1.3.3 Ancorarea armăturilor longitudinale

Lungimea de ancorare necesară armăturilor din bare laminate la cald, necesară dincolo de secțiunea în care sunt solicitate maximal, se calculează cu relația:

$$l_a = \lambda_a \cdot d \qquad (1.13)$$

în care d este diametrul armăturii, iar coeficientul λ_a este calculat cu relația:

$$\lambda_a = n_{anc} \frac{R_a}{R_t} + \lambda_{a0} \qquad (1.14)$$

Valorile coeficienților n_{anc} și λ_{a0} sunt date în tabelul 1.2.

Armături solicitate la	aderență bună, condiții normale de solicitare		condiții severe de solicitare sau condiții defavorabile de aderență		λ_{a0}
	Tipul de oțel				
	PC 60 PC 52	OB 37	PC 60 PC 52	OB 37	
	n_{anc}				
întindere	0,05	0,08	0,07	0,12	12
compresiune	0,03	0,05	0,04	0,07	10

Se consideră ca având condiții severe de solicitare:

- armăturile plăcilor solicitate de forțe concentrate importante, situate la distanțe mai mici de 40d față de marginea interioară a reazemelor;
- armăturile plăcilor solicitate la oboseală.

Condițiile defavorabile de aderență se referă la armăturile plăcilor care:

- sunt înglobate în plăci cu grosimea $h_p \geq 300$ mm și sunt situate la partea superioară a plăcii;
- armăturile la care condițiile de armare, condițiile tehnologice de betonare sau alte cauze pot influența negativ realizarea unei bune aderențe în zonele de ancorare.

Tabelul 1.3

Condiții de aderență și de solicitare	Tipul de oțel					
	PC 60		PC 52		OB 37	
	Clasa betonului					
	Bc 15	Bc 20 Bc 25	Bc 10 Bc 15	Bc 20 Bc 15	Bc 10 Bc 15	Bc 20 Bc 25
	λ_a					
Aderență bună, condiții nomale de solicitare	35	30	35	30	40	35
Condiții severe de solicitare sau condiții defavorabile de aderență	45	40	45	40	50	45
Condiții severe de solicitare cumulate cu condiții defavorabile de aderență	55	50	55	50	60	55

Pentru armăturile întinse ale plăcilor din beton armat obișnuit, în cazurile curente, coeficientul λ_a poate fi determinat direct cu valorile date în tabelul 1.3.

De regulă, ancorarea barelor în zone comprimate sau petrecerea lor dincolo de marginea interioară a reazemelor se efectuează cu următoarele lungimi de ancorare (pentru b=1.000 mm):

$l_a \geq 15d$, când $Q > b \cdot h_0 \cdot R_t$;

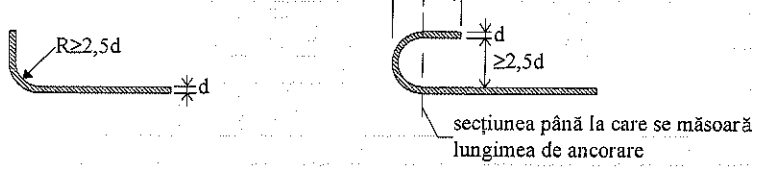
$l_a \geq 10d$, când $Q \leq b \cdot h_0 \cdot R_t$;

$l_a \geq 5d$, când $Q \leq 0{,}5b \cdot h_0 \cdot R_t$.

La plăcile executate din betoane cu agregate ușoare, în cazul utilizării armăturilor de rezistență din oțel de tip OB 37, lungimile de ancorare se majorează cu 50% în raport cu cele calculate pentru plăcile executate din beton obișnuit.

Necesitatea prevederii de ciocuri la extremitățile barelor de armătură și modul cum se iau în considerare la determinarea lungimii de ancorare l_a calculată cu relația (1.13), se stabilesc astfel:

- pentru armăturile din oțel de tip PC 52 și PC 60 prevederea de ciocuri nu este obligatorie; dacă totuși se prevăd ciocuri, lungimea lor desfășurată se include în lungimea de ancorare l_a și se execută prin îndoire la 90° (fig. 1.11.a).



a. b.

Fig. 1.11

• pentru armăturile din oțel OB 37 se prevăd ciocuri executate prin îndoire la 180°, a căror lungime desfășurată nu se include în lungimea de ancorare l_a (fig. 1.11.b).

Lungimea de ancorare a plaselor sudate din STNB se stabilește considerând că ancorarea se realizează doar prin efectul de împănare a armăturilor transversale în beton. Se consideră că la fiecare nod al plasei (fig. 1.12) se poate transmite de la armături la beton o forță F determinată cu relația:

$$F = 15 d_t \cdot l_1 \cdot R_t \qquad (1.15)$$

în care:

d_t- diametrul armăturii transversale;

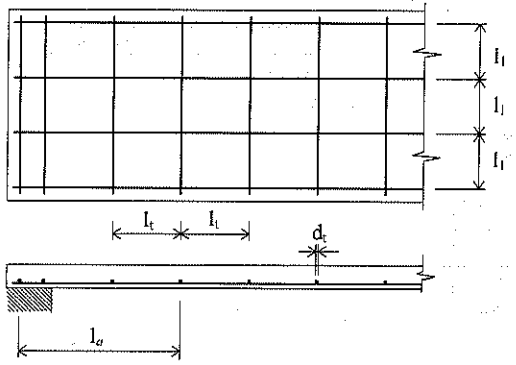


Fig. 1.12

l_1- distanța dintre axele armăturilor longitudinale (pentru care se determină lungimile de ancorare), dar nu mai mult de $30d_t$;

R_t- rezistența de calcul la întindere a betonului.

1.3.4 Înădirea armăturilor

La plăcile monolite din beton armat înădirea armăturilor se realizează prin suprapunere. Lungimea de suprapunere a barelor independente se determină cu relația:

$$l_s = k_s \cdot l_a \qquad (1.16)$$

în care:

l_a- lungimea de ancorare a barei determinată în conformitate cu prevederile paragrafului 1.3.3;

k_s=1+0,5·r_i pentru înădirile barelor amplasate în zone întinse;

k_s=1+0,25·r_i pentru înădirile barelor amplasate în zone comprimate;

din aceeași secțiune, pentru armăturile din OB 37 $r_i \leq 0,25$, iar pentru armăturile de tip PC 52 și PC 60 $r_i \leq 0,50$.

Înădirea barelor comprimate sub orice grupare de încărcări se face pe lungimea de suprapunere:

$l_s \geq 30d$ la plăcile confecționate din betoane de clasă <Bc 25;

$l_s \geq 20d$ la plăcile confecționate din betoane de clasă≥Bc 25.

Înădirea plaselor sudate din STNB după direcția armăturilor de rezistență se face prin suprapunere și va avea cel puțin valorile:

• lungimea a două ochiuri plus 50 mm (fig. 1.13.a) dacă efortul unitar în armături σ_a sub încărcările de calcul satisface inegalitățile $0,5R_a < \sigma_a \leq R_a$, unde R_a este rezistența de calcul a armăturii;

• lungimea unui singur ochi plus 50 mm (fig. 1.13.b), dar cel puțin 40d (unde d este diametrul barelor pe direcția de înădire) dacă $\sigma_a \leq 0,5R_a$.

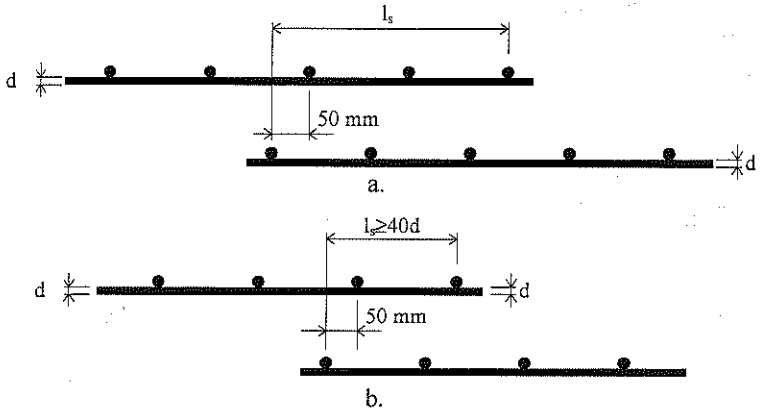


Fig. 1.13

Dacă dimensiunile secțiunii plăcii nu permit asigurarea între barele care se înădesc a unui spațiu ≥1,2d și cel puțin 25 mm, se permite ca înădirea să se execute prin juxtapunere fără spațiu și legare cu sârmă pe lungimea ei.

La plăcile prefabricate apare necesitatea înădirii barelor pe lungimi mult mai reduse decât cele necesare înădirii prin suprapunere. În aceste condiții înădirea barelor se poate realiza prin sudură sau cu bucle.

Înădirea prin sudură se efectuează prin topire cu arc electric la armături cu diametrul mai mare sau egal cu 8 mm. Cordoanele de sudură se dispun de regulă simetric față de armătura care se înădește, pentru a asigura transmiterea centrică a efortului. La plăci se utilizează înădirea prin suprapunere fără eclise, caz în care porțiunea de suprapunere a celor două bare care se înădesc se îndoaie (fig. 1.14), astfel încât poziția cordoanelor de sudură să fie simetrică în raport cu axa barelor.

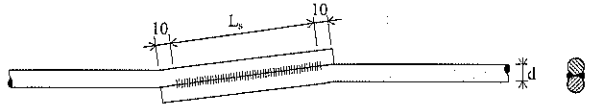


Fig. 1.14

• 4d, pentru barele cu profil neted (OB 37).

Îmbinarea cu bucle constă în suprapunerea unor mustăți în formă de bucle semicirculare care ies din plăcile prefabricate. Se crează astfel un sâmbure de beton comprimat care trebuie să asigure transmiterea efortului de la o buclă la cealaltă. Pentru ca betonul sâmburelui să nu fie despicat, raza de curbură interioară a buclei r_i se calculează cu relația (fig. 1.15):

$$r_i \geq d\sqrt{\frac{R_a}{8R_t}} \qquad (1.17)$$

unde:

d- diametrul armăturii care se înădește;

R_a- rezistența de calcul a armăturii care se înădește;

R_t- rezistența de calcul la întindere a betonului.

Raza de curbură interioară minimă este egală cu:

• 6d, la barele cu profil periodic (PC 52, PC 60) ;

• 4d, la barele cu profil neted (OB 37).

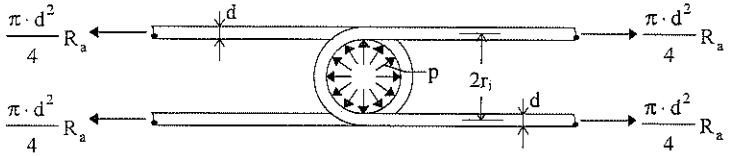


Fig. 1.15

Având în vedere încărcările relativ mici, continuizarea armăturilor între plăcile prefabricate se poate face şi cu bucle care se abat de la forma semicirculară (fig. 1.16). În aceste situații se dispun în colțurile buclelor armături cu diametrul minim de 8 mm, care să preia eforturile locale de despicare. Buclele se vor realiza prin îndoirea barelor cu o rază minimă de 2,5d.

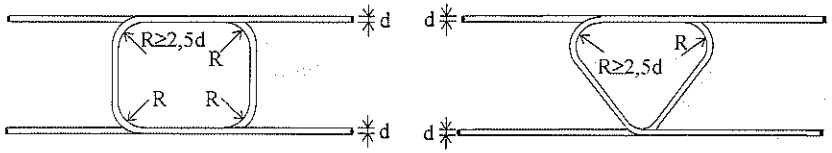


Fig. 1.16

1.3.5 Armături de rezistență

Ca armături de rezistență se pot folosi:

• bare profilate de tip PC 52 şi PC 60 asamblate în plase legate legate cu sârmă;

• bare netede de tip OB 37 asamblate în plase legate cu sârmă, dacă cantitatea de armătură se determină pe criterii de procente minime de armare, diametre minime şi distanțe maxime între bare;

• plase sudate din STNB şi STBP.

Procentele minime de armare sunt:

• p_{min}=0,050% dacă p_c<0,045%;

• p_{min}=1,15p_c dacă 0,045%≤p_c<0,085%;

• p_{min}=0,100% dacă 0,085≤p_c<0,100%, unde p_c este procentul de armare rezultat din calcul.

Tipul plăcii	Clasa oțelului		
	OB 37	PC 52	STNB
Plăci armate pe o direcție	(0,40-0,80)%	(0,30-0,60)%	(0,25-0,50)%
Plăci armate pe două direcții	(0,30-0,60)%	(025-0,50)%	(0,20-0,50)%

În tabelul 1.4 sunt date procentele medii de armare recomandate.

Diametre minime:

• la barele plaselor legate cu sârmă: 6 mm pentru barele drepte de la partea inferioară a plăcii, iar pentru cele înclinate sau dispuse la partea superioară, 6 mm dacă sunt din oțel de tip PC 52 sau PC 60 şi 8 mm dacă sunt din OB 37;

• la plasele sudate: 5 mm la elementele din beton armat monolit şi 4 mm la cele prefabricate.

Diametrul maxim al barelor se consideră 0,1h_p+2mm, unde grosimea plăcii h_p se exprimă în mm.

În zonele întinse, numărul minim de bare pe metru în funcție de grosimea h_p a plăcii este:

• pentru h_p≤300 mm, 5 bare pe metru;

• pentru 300 mm<h_p≤400 mm, 4 bare pe metru;

• pentru h_p>400 mm, 3 bare pe metru.

Numărul maxim de bare în câmp şi pe reazeme este 12 bare pe metru.

De regulă, dimensionarea plăcilor la acțiunea forței tăietoare în secțiuni înclinate nu este necesară, fiind satisfăcută relația:

$$\overline{Q} = \frac{Q_{max}}{b \cdot h_o \cdot R_t} \leq 0{,}75 \qquad (1.18)$$

în care:

Q_{max}- forța tăietoare de calcul maximă în secțiunea considerată;

b- lățimea secțiunii (în cazul plăcilor b=1.000 mm);

h_0- înălțimea utilă a secțiunii;

R_t- rezistența de calcul la întindere a betonului.

Totuşi, dacă relația (1.18) nu este satisfăcută, se vor dimensiona armături verticale şi bare înclinate capabile să preia eforturile de forfecare.

1.3.6 Prevederi de armare pentru plăcile armate pe o direcție

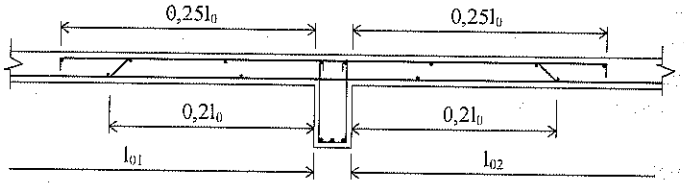
Reguli de armare:

• armătura de rezistență se dispune după deschiderea de calcul a plăcii, perpendicular pe laturile de rezemare, în zonele întinse conform diagramei de momente încovoietoare corespunzătoare încărcărilor şi modului de rezemare;

• armăturile de la partea superioară a plăcii dispuse pentru preluarea momentelor încovoietoare pe reazeme se prelungesc de o parte şi de alta a reazemului, astfel încât să acopere întreaga zonă de momente negative; dacă nu se face un calcul al lungimii necesare, aceasta se ia de fiecare parte a reazemului egală cu 1/4 din lumina cea mai mare adiacentă reazemului respectiv (fig. 1.17); când placa este încastrată elastic în reazemul marginal, modul de aşezare a armăturii de rezistență este acelaşi cu cel de pe reazemele intermediare;

• cel puțin 1/3 din aria armăturilor dispuse în câmp şi minimum 3 bare pe metru se prelungesc peste reazeme; restul armăturii de la partea inferioară a plăcilor care nu se prelungeşte se poate ridica şi utiliza la preluarea momentelor negative pe reazeme;

adiacentă reazemului; la plăcile cu încărcări mari, când relația (1.18) nu este satisfăcută și deci folosirea barelor înclinate este necesară pentrù preluarea eforturilor de forfecare, secțiunile de înclinare se prevăd începând cu imediata vecinătate a reazemelor; la reazemele marginale ale plăcilor simplu rezemate se recomandă ca ridicarea armăturii de rezistență să se facă la 1/10 din lumina deschiderii de margine;



$l_0=max\{l_{0,1};l_{02}\}$ - deschiderea maximă adiacentă reazemului

Fig. 1.17

- se prevăd următoarele armături perpendiculare pe direcția armăturilor de rezistență:
  - în zonele întinse de pe reazeme și din câmp se prevede o armătură de repartiție având secțiunea egală cu cel puțin 15% din secțiunea armăturii longitudinale de rezistență la plăcile obișnuite și 25% la cele cu încărcări concentrate mari, dar cel puțin 4 Ø6/m, în cazul armării cu plase legate cu sârmă, respectiv cel puțin 5 Ø5/m, la plasele sudate; armăturile de repartiție se dispun înspre interiorul plăcii, astfel încât să se obțină o înălțime utilă maximă a armăturii de rezistență;
  - pentru preluarea momentelor locale de încastrare pe reazemele de continuitate de pe direcția laturii mari, transversală pe deschiderea de calcul (fig. 1.18), se prevăd călăreți (bare individuale sau plase sudate) care să respecte prevederile de la barele de rezistență, prelungiți de o parte și de alta a reazemului cu $l_0/4$; de regulă se dispun călăreți 5 Ø8/m dacă sunt din OB 37 și 7 Ø6/m, dacă sunt din PC 52 sau PC 60;
- la plăcile cu goluri mici, armătura de rezistență din dreptul golurilor se așează de o parte și de alta a acestora, în dreptul golurilor dispunându-se armătura minimă constructivă.

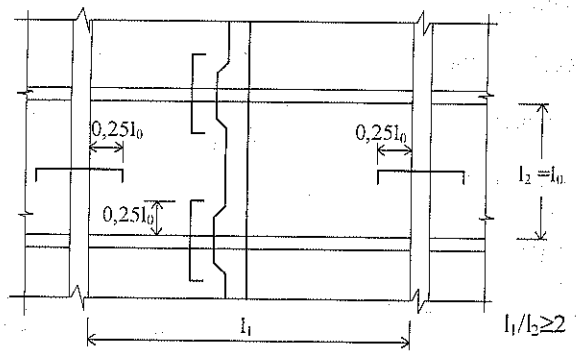


Fig. 1.18

Câteva variante de armare a plăcilor monolite continue utilizând bare independente asamblate în plase legate sunt prezentate în figura 1.19. Plăcile cu grosimi $h_p \leq 70$ mm se pot arma cu bare de rezistență așezate continuu la partea inferioară și călăreți dispuși deasupra reazemelor (fig. 1.19.a). Plăcile cu grosimi

ridicată pe reazeme nu este suficientă, se pot dispune călăreți suplimentari, care se vor termina cu ciocuri sau picioruşe de rezemare, în conformitate cu prevederile paragrafului 1.3.3. Din punct de vedere tehnologic, în variantele de armare prezentate în figurile 1.19.a, b şi c fasonarea barelor independente se face pe cofraj, în timp ce variantele de armare prezentate în figurile 1.19.d şi e fasonarea barelor se face industrializat în ateliere.

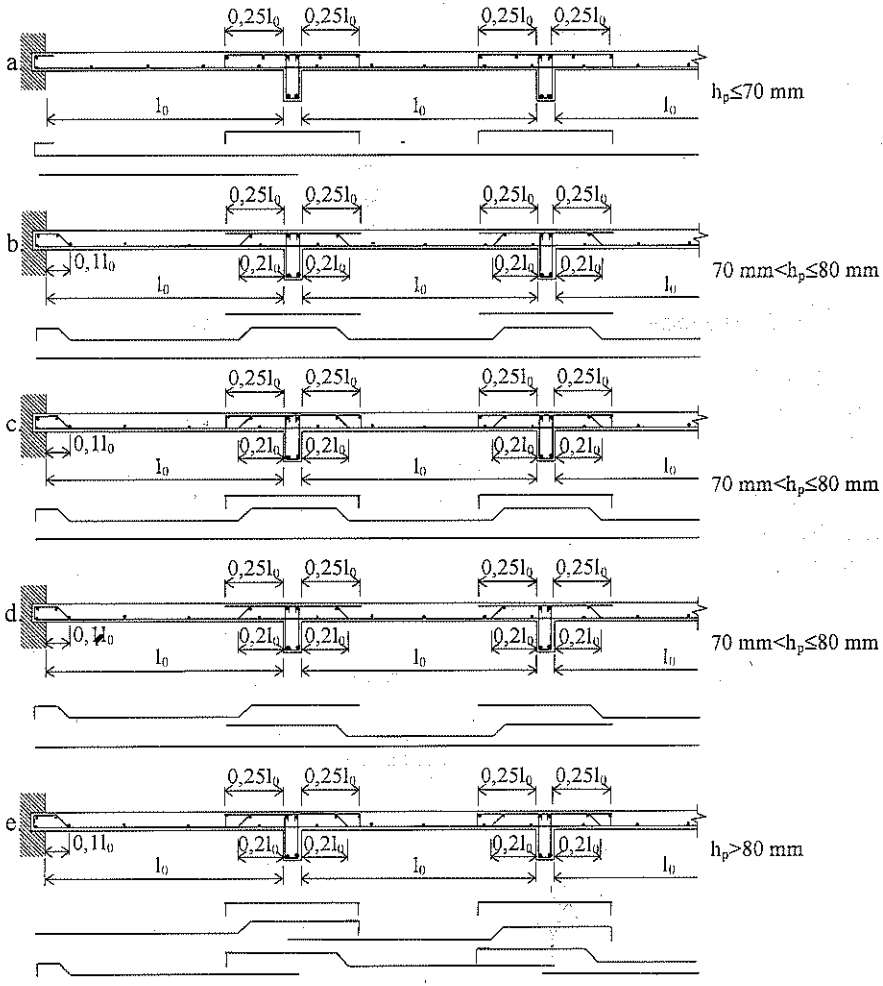


Fig. 1.19

Armarea plăcilor cu plase sudate este prezentată în figura 1.20. Dacă pentru preluarea momentului încovoietor sunt necesare plase suplimentare, acestea se dispun decalat (fig. 1.20.b, c, d). Când există posibilitatea încastrării parțiale în reazemele marginale, încastrări care nu s-au considerat în calcule, se prevăd plase suplimentare care să pătrundă în deschidere pe o lungime de $0,15l_0$ (fig. 1.20.a şi c), măsurată de la fața reazemului.

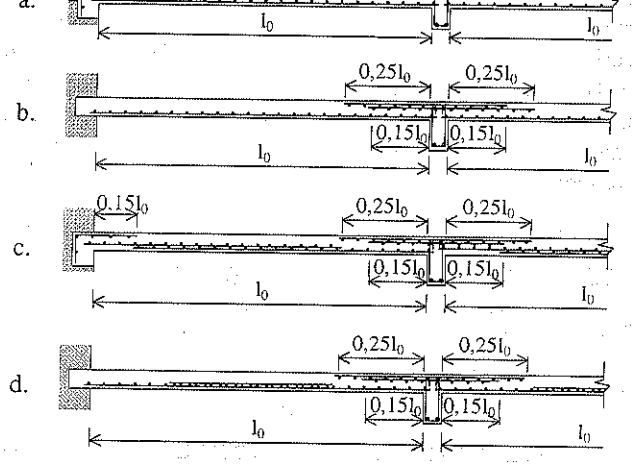


Fig. 1.20

1.3.7 Prevederi de armare pentru plăcile armate pe două direcții

Reguli de armare:

• armăturile de pe direcția deschiderii mai mici a unui panou de placă se dispun astfel încât să aibă înălțimea utilă cea mai mare; la plăcile încastrate pe contur (plăcile continue), cel puțin 1/3 din aria secțiunii de armătură dimensionată pentru preluarea momentelor în câmp și cel puțin 3 bare pe metru se prelungesc dincolo de reazeme; restul barelor se pot ridica pentru preluarea momentului încovoietor pe reazeme, secțiunea de ridicare fiind situată la 1/5 din lumina cea mai mică a panoului de placă;

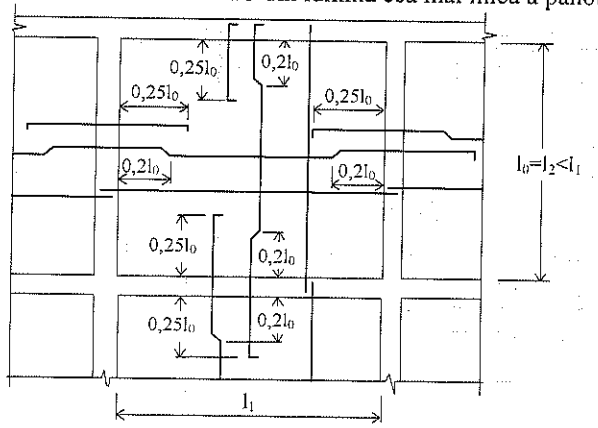


Fig. 1.21

• călărețiidispuși pentru preluarea momentului încovoietor pe reazeme se vor întrerupe la 1/4 din lumina măsurată după deschiderea cea mai mică (fig. 1.21);

• armătura dimensionată din câmp și de pe reazeme, pe fiecare direcție, se poate reduce cu 50% în fâșiile marginale, respectându-se procentul minim de armare și distanțele admise între bare; pentru plăcile rezemate pe tot conturul, modalitatea de stabilire a lățimii fâșiilor de margine este prezentată în figura 1.22;

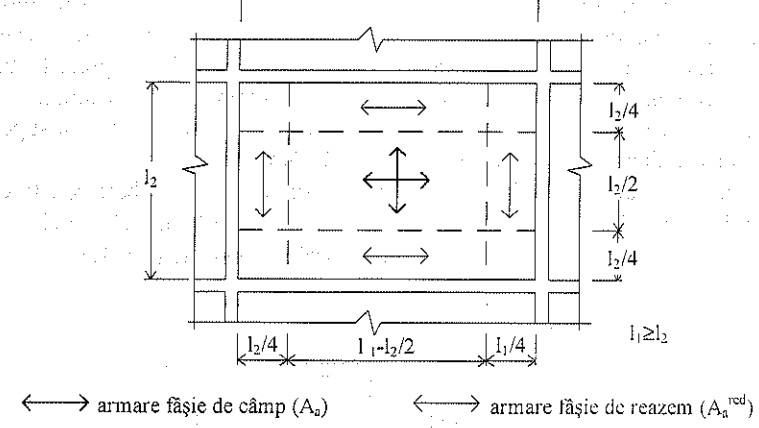


Fig. 1.22

• plăcile rezemate pe trei laturi și libere pe a patra se armează pe baza aceloraşi prevederi ca plăcile rezemate tot conturul; împărțirea plăcii în fâșii pentru reducerea ariei de armătură se efectuează ca în figura 1.23;

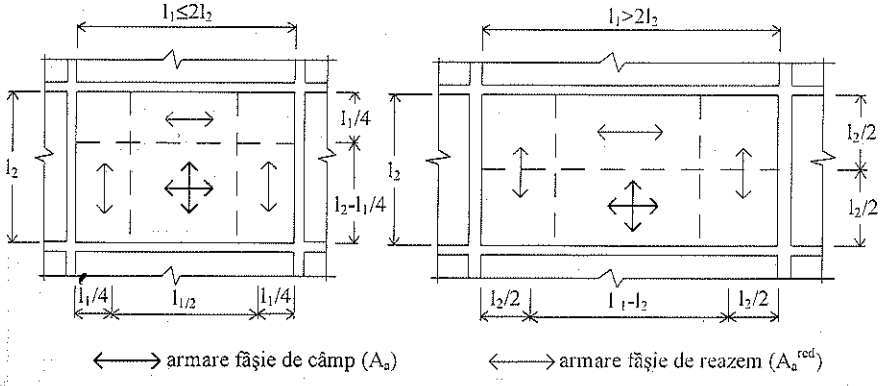


Fig. 1.23

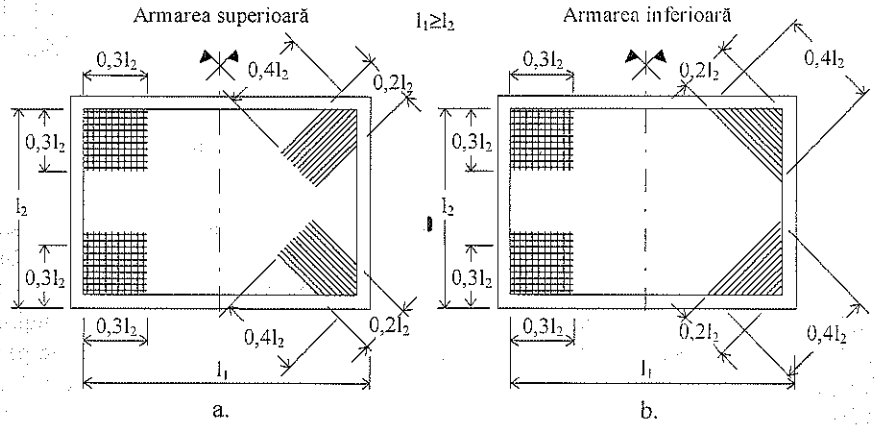


Fig. 1.24

armătura egală cu aria maximă din câmp; armătura se dispune după direcția laturilor de întindere sau paralel cu laturile (fig. 1.24); având în vedere eforturile care apar local în colțuri, armătura cea mai rațională este cea oblică, însă în practică se preferă utilizarea unor plase ortogonale, mai ușor de executat, chiar dacă implică un consum material de circa trei ori mai mare; în figura 1.24.a este prezentată armarea la partea superioară, iar în figura 1.24.b armarea de la partea inferioară a unei plăci;

• plăcile armate pe două direcții cu goluri mici se armează cu bare bare constructive în dreptul golurilor (A_a^c), armătura de rezistență (A_a^r) rezultată din calcule și care ar fi intersectat golurile urmând a fi dispusă pentru bordarea acestora (fig. 1.25).

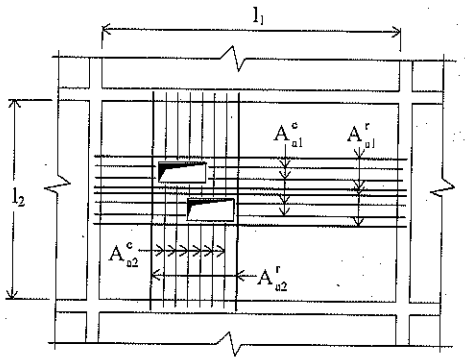
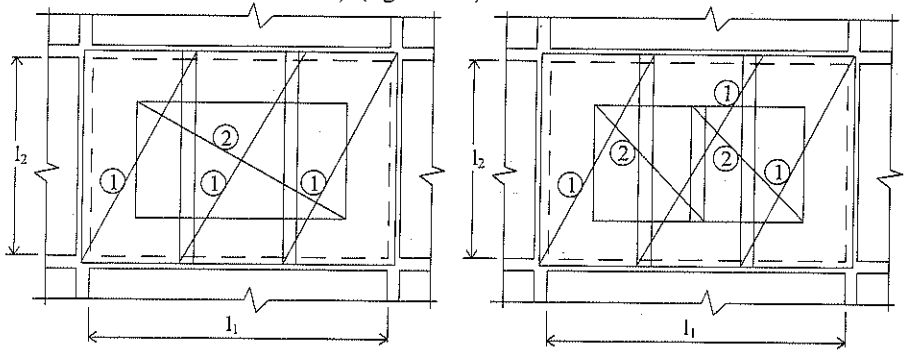


Fig. 1.25

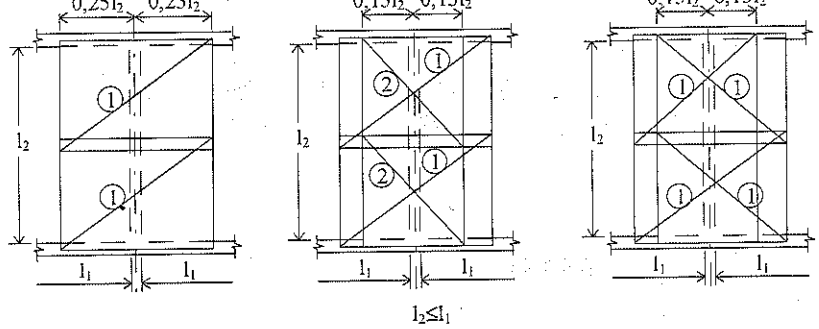
La plăcile armate cu plase sudate așezarea armăturii în câmp se face luând în considerare posibilitatea de reducere a cantității de armătură cu 50% în fâșiile marginale (fig. 1.26). În acest sens, în zona central se așează plase suplimentare în una (fig. 1.26.a) sau mai multe bucăți (fig. 1.26.b).



a. b.

Fig. 1.26

Pe reazeme armătura se poate dispune într-o singură plasă (fig. 1.27.a) sau plase suprapuse (fig. 1.27.b și c). În acest din urmă caz, plasele din primul rând trebuie să pătrundă în câmpul adiacent cu 1/4 din lumina minimă a fiecărui panou de placă adiacent reazemului, iar plasele suprapuse trebuie să pătrundă pe o lungime egală cu 15% din aceeași lumină minimă a fiecărui panou, ca și la plăcile armate pe o direcție. Pe fâșiile de margine, dacă este posibil cantitatea de armătură se poate reduce cu 50%; armarea zonelor de colț se face cu plase ortogonale în aceleași condiții cu cele ale plăcilor armate cu bare asamblate în plase legate (fig. 1.24);



a. b. c.

Fig. 1.27

2. CALCULUL STATIC AL PLĂCILOR MONOLITE CONTINUE ARMATE PE O DIRECȚIE

2.1 Particularități de calcul static

Determinarea solicitărilor produse în secțiunile plăcilor continue de încărcările permanente și temporare se efectuează pe schema statică de grindă continuă, considerând o fâșie de placă cu lățimea unitară (1 m). Plăcile acționate de încărcări concentrate se calculează tot ca grinzi continue cu înălțime constantă, luând în considerare o lățime de calcul determinată în conformitate cu prevederile paragrafului 1.2.3.

Solicitările de dimensionare care apar în secțiunile plăcilor la care încărcările pot alcătui mai multe scheme de încărcare, se determină pentru schema de încărcare cea mai defavorabilă fiecărei secțiuni:

- momentul maxim pozitiv într-un câmp se determină considerând încărcarea permanentă aplicată tuturor deschiderilor, iar încărcarea temporară în deschiderea respectivă și în deschiderile alternante (fig. 2.1.a);
- momentul minim sau momentul maxim negativ într-un câmp se determină considerând încărcarea permanentă aplicată în toate deschiderile, iar încărcarea temporară în deschiderile adiacente celei considerată și respectiv deschiderile alternante (fig. 2.1.a);
- momentul maxim negativ pe un reazem se determină pentru încărcarea permanentă aplicată în toate deschiderile și respectiv încărcarea temporară aplicată deschiderilor adiacente reazemului, precum și în deschiderile alternante (fig. 2.1.b).

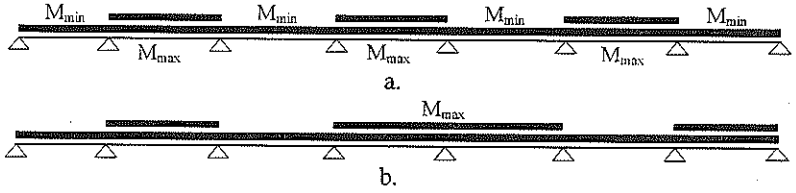


Fig. 2.1

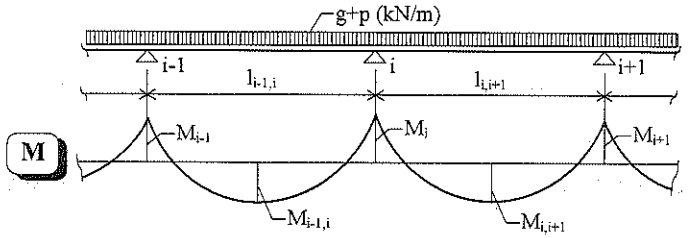
2.2 Calculul static în domeniul elastic

La plăcile ale căror reazeme sunt de tip monolit pe tot conturul, se pot efectua reduceri ale momentelor încovoietoare rezultate din calcul cu 20% în toate câmpurile intermediare și pe toate reazemele intermediare, începând cu al doilea reazem intermediar.

Solicitările de calcul în secțiunile critice se determină utilizând următoarele deschideri de calcul:

- deschiderea efectivă a unui câmp pentru determinarea momentului încovoietor și a forței tăietoare corespunzătoare acelui câmp.

2.2.1 Plăci ale căror deschideri nu diferă cu mai mult de 20% ($l_{i,i+1} \geq 0{,}8 l_{max}$) și încărcările totale (g+p) uniform distribuite



$l_{i,i+1} \geq 0{,}8 l_{max}$, $i=\overline{0,n-1}$ și (g+p) uniform distribuită

Fig. 2.2

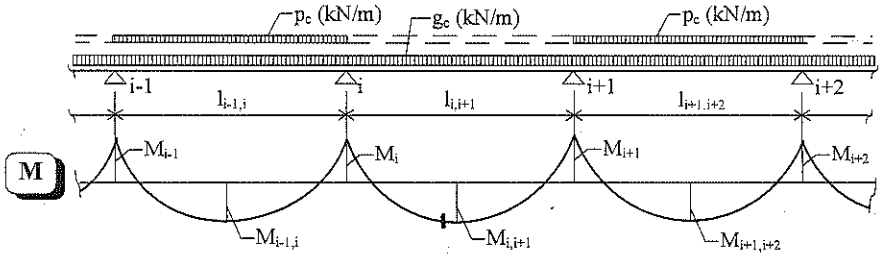
Solicitările în secțiunile plăcii se determină pe baza coeficienților liniilor de influență (a și α) ale grinzilor continue cu deschideri egale (Anexa I):

$$M_i = a(g+p)\left(\frac{l_{i-1,i}+l_{i,i+1}}{2}\right)^2, \; i \neq 0$$

$$M_{i,i+1} = a(g+p)l_{i,i+1}^2 \geq \frac{(g+p)l_{i,i+1}^2}{24} \qquad (2.1)$$

$$Q_{i,i+1} = \alpha(g+p)l_{i,i+1}, \; i=\overline{0,n-1}$$

2.2.2 Plăci ale căror deschideri nu diferă cu mai mult de 20% ($l_{i,i+1} \geq 0{,}8 l_{max}$) și încărcările temporare (p) cu mai multe scheme de încărcare



$l_{i,i+1} \geq 0{,}8 l_{max}$, $i=\overline{0,n-1}$ și p cu mai multe scheme de încărcare

Fig. 2.3

Eforturile în secțiunile plăcilor se determină utilizând coeficienții liniilor de influență (a, b, c, α, β și γ) ale grinzilor continue cu deschideri egale (Anexa I), considerând următoarele încărcări convenționale:

- încărcarea permanentă convențională $g_c = g + p/2$ (kN/m);
- încărcarea temporară convențională $p_c = p/2$ (kN/m).

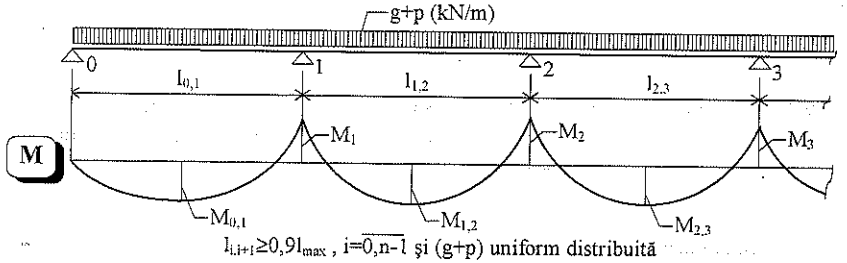
$$M_{i,i+1}^{max} = (ag_c + bp_c)l_{i,i+1}^2 \geq \frac{(g+p)l_{i,i+1}^2}{24}$$
$$M_{i,i+1}^{min} = (ag_c + cp_c)l_{i,i+1}^2 \qquad (2.2)$$
$$Q_{i,i+1}^{max} = (\alpha g_c + \beta p_c)l_{i,i+1}$$
$$Q_{i,i+1}^{min} = (\alpha g_c + \gamma p_c)l_{i,i+1}, \quad i = \overline{0,n-1}$$

2.3 Calculul static simplificat în domeniul plastic

Solicitările de calcul în secțiunile critice ale plăcilor se determină utilizând următoarele deschideri de calcul:

- deschiderea cea mai mare adiacentă unui reazem intermediar pentru calculul momentului încovoietor pe reazemul respectiv;
- deschiderea efectivă a unui câmp pentru determinarea momentului încovoietor și a forței tăietoare corespunzătoare acelui câmp.

2.3.1 Plăci ale căror deschideri nu diferă cu mai mult de 10% ($l_{i,i+1} \geq 0,9 l_{max}$) și încărcările totale (g+p) uniform distribuite



$l_{i,i+1} \geq 0,9 l_{max}$, $i=\overline{0,n-1}$ și (g+p) uniform distribuită

Fig. 2.4

Momentele de calcul în secțiunile critice ale plăcilor cu trei sau mai multe deschideri, solicitate de încărcări permanente și temporare uniform distribuite sunt:

- în prima și ultima deschidere:

$$M_{0,1} = \frac{(g+p)l_{0,1}^2}{11}, \text{ respectiv}$$
$$M_{n-1,n} = \frac{(g+p)l_{n-1,n}^2}{11} \qquad (2.3)$$

- în deschiderile intermediare :

$$M_{i,i+1} = \frac{(g+p)l_{i,i+1}^2}{16}, \quad i = \overline{1,n-2} \qquad (2.4)$$

$$M_1 = \frac{(g+p)\left[max\{l_{0,1}; l_{1,2}\}\right]^2}{14}, \text{ respectiv}$$
$$M_{n-1} = \frac{(g+p)\left[max\{l_{n-2,n-1}; l_{n-1,n}\}\right]^2}{14} \qquad (2.5)$$

- pe celelalte reazeme intermediare:

$$M_i = \frac{(g+p)\left[max\{l_{i-1,i}; l_{i,i+1}\}\right]^2}{16}, \quad i = \overline{2,n-2} \qquad (2.6)$$

Forțele tăietoare de calcul au următoarele expresii:

- în secțiunile adiacente reazemelor marginale:

$$Q_0^{dr} = 0,45(g+p)l_{0,1}$$
$$Q_n^{st} = 0,45(g+p)l_{n-1,n} \qquad (2.7)$$

- în secțiunile adiacente primului și ultimului reazem intermediar:

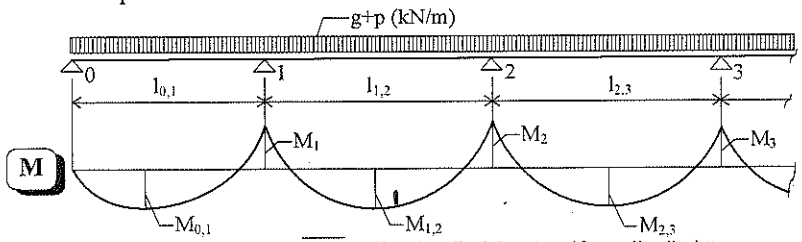
$$Q_1^{st} = 0,65(g+p)l_{0,1};\ Q_1^{dr} = 0,55(g+p)l_{1,2}$$
$$Q_{n-1}^{st} = 0,55(g+p)l_{n-2,n-1};\ Q_{n-1}^{dr} = 0,65(g+p)l_{n-1,n} \qquad (2.8)$$

- în secțiunile adiacente celorlalte reazeme intermediare:

$$Q_i^{st} = 0,55(g+p)l_{i-1,i}$$
$$Q_i^{dr} = 0,55(g+p)l_{i,i+1},\ i = \overline{2,n-2} \qquad (2.9)$$

2.3.2 Plăci ale căror deschideri nu diferă cu mai mult de 40% ($l_{i,i+1} \geq 0,6 l_{max}$), încărcările totale (g+p) uniform distribuite și p/(g+p)≤1/3

Momentele pe reazeme se pot calcula cu relațiile (2.5) și (2.6), iar momentele din deschideri după cum urmează:



$0,9 l_{max} \geq l_{i,i+1} \geq 0,6 l_{max}$, $i=\overline{0,n-1}$, p/(g+p)≤1/3 și (g+p) uniform distribuită

Fig. 2.5

- în prima și ultima deschidere cu relațiile:

$$M_{0,1} = \frac{(g+p)l_{0,1}^2}{8} - \frac{|M_1|}{2,5} \geq \frac{(g+p)l_{0,1}^2}{24}, \text{ respectiv}$$
$$M_{n-1,n} = \frac{(g+p)l_{n-1,n}^2}{8} - \frac{|M_{n-1}|}{2,5} \geq \frac{(g+p)l_{n-1,n}^2}{24} \qquad (2.10)$$

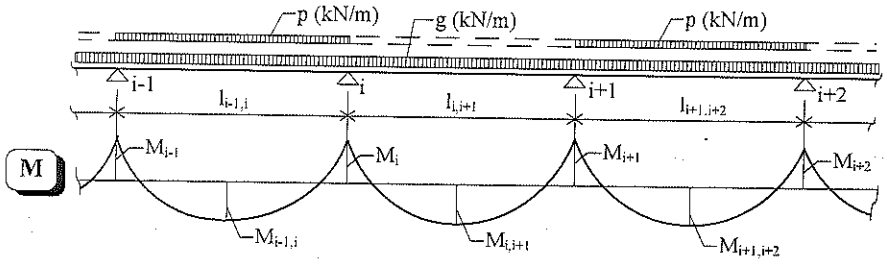
$$M_{i,i+1} = \frac{(g+p)l_{i,i+1}}{8} - \frac{|M_i| + M_{i+1}|}{2} \geq \frac{(g+p)l_{i,i+1}}{24}, \quad i = \overline{2,n-2} \qquad (2.11)$$

Forțele tăietoare de calcul în secțiunile adiacente reazemelor unei deschideri se determină cu relațiile:

$$Q_i^{dr} = 1,1\left[\frac{(g+p)l_{i,i+1}}{2} + \frac{|M_i| - |M_{i+1}|}{l_{i,i+1}}\right]$$

$$Q_{i+1}^{st} = 1,1\left[\frac{(g+p)l_{i,i+1}}{2} - \frac{|M_i| - |M_{i+1}|}{l_{i,i+1}}\right], \quad i = \overline{0,n-1} \qquad (2.12)$$

2.3.3 Plăci ale căror deschideri nu diferă cu mai mult de 10% ($l_{i,i+1} \geq 0,9l_{max}$) și încărcările temporare (p) cu mai multe scheme de încărcare



$l_{i,i+1} \geq 0,9l_{max}$, $i=\overline{0,n-1}$ și p cu mai multe scheme de încărcare

Fig. 2.6

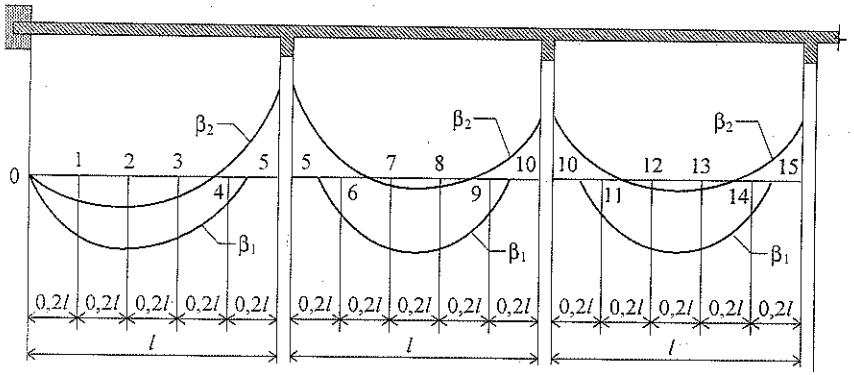


Fig. 2.7

Pentru plăcile cu mai multe scheme de încărcare, înfășurătoarele momentelor încovoietoare de calcul se determină cu ajutorul diagramei din figura 2.7 și a relațiilor:

$$M_{i,i+1}^{max} = \beta_1(g+p)l_{i,i+1}^2$$

$$M_{i,i+1}^{min} = \beta_2(g+p)l_{i,i+1}^2, \quad i = \overline{0,n-1} \qquad (2.13)$$

Valorile coeficienților β_1 și β_2 sunt date în tabelele 2.1 și 2.2. Valorile de calcul ale forțelor tăietoare se determină cu relațiile (2.7), (2.8) și (2.9).

Secțiunea	0	1	2	3	4	5	6	7
β_1	0,0000	+0,0650	+0,0910	+0,0760	+0,0220	-0,0625	+0,0180	+0,0580
Secțiunea	8	9	10	11	12	13	14	15
β_1	+0,0580	+0,0180	-0,0625	+0,0180	+0,0580	+0,0580	+0,0180	-0,0625

Notă: valorile lui β_1 în alte secțiuni se obțin prin interpolare liniară.

Tabelul 2.2

Sec	p/g									
țiu	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5	5,0
nea	β_2									
3	-	+0,032	+0,023	+0,017	+0,013	+0,010	+0,007	+0,005	+0,003	+0,002
4	+0,003	-0,007	-0,013	-0,017	-0,020	-0,022	-0,024	-0,025	-0,026	-0,027
5	-0,0715	-0,0715	-0,0715	-0,0715	-0,0715	-0,0715	-0,0715	-0,0715	-0,0715	-0,0715
6	-0,010	-0,020	-0,026	-0,030	-0,033	-0,035	-0,037	-0,038	-0,039	-0,040
7	+0,022	+0,007	-0,002	-0,008	-0,012	-0,015	-0,018	-0,020	-0,022	-0,023
8	+0,023	+0,008	-0,001	-0,007	-0,011	-0,014	-0,017	-0,019	-0,021	-0,022
9	-0,004	-0,014	-0,020	-0,024	-0,027	-0,029	-0,031	-0,032	-0,033	-0,034
10	-0,0625	-0,0625	-0,0625	-0,0625	-0,0625	-0,0625	-0,0625	-0,0625	-0,0625	-0,0625
11	-0,003	-0,013	-0,019	-0,023	-0,026	-0,028	-0,030	-0,031	-0,032	-0,033
12	+0,028	+0,015	+0,004	-0,003	-0,007	-0,010	-0,013	-0,015	-0,018	-0,018
13	+0,028	+0,015	+0,004	-0,003	-0,007	-0,010	-0,013	-0,015	-0,018	-0,018
14	-0,003	-0,013	-0,019	-0,023	-0,026	-0,028	-0,030	-0,031	-0,032	-0,033
15	-0,0625	-0,0625	-0,0625	-0,0625	-0,0625	-0,0625	-0,0625	-0,0625	-0,0625	-0,0625

Notă: valorile lui β_2 în alte secțiuni se obțin prin interpolare liniară.

2.4 *Calculul static în domeniul plastic prin modificarea rezultatelor calculului static în domeniul elastic*

Momentele de calcul pe reazemele intermediare se determină pe baza relației:

$$M_i = k_p \cdot M_i^e, \quad i = \overline{1,n-1} \qquad (2.14)$$

în care:

M_i^e - momentul maxim calculat în domeniul elastic pe reazemul i;

k_p - coeficientul de adaptare plastică.

Coeficientul k_p are valorile date de expresiile:

$$0,8 \leq k_p = 0,8(v+0,25) \leq 1 \qquad (2.15)$$

unde v este egal cu raportul dintre încărcarea de lungă durată și încărcarea totală de calcul ($v=q^{ld}/q$).

Momentele în deschiderile plăcii (fig. 2.8) se calculează cu relația:

$$M_{i,i+1}^x = \mathbf{M}_{i,i+1}^x - \left(1 - \frac{x}{l_{i,i+1}}\right)|M_i| - \frac{x}{l_{i,i+1}}|M_{i+1}|, \quad i = \overline{0,n-1} \qquad (2.16)$$

În relația (2.16) $\mathbf{M}_{i,i+1}^x$ este momentul încovoietor în secțiunea x a deschiderii considerată (i,i+1), determinat în ipoteza simplei rezemări la ambele extremități.

Momentele de dimensionare se pot de asemenea calcula cu relațiile (2.10) și (2.11), iar forțele tăietoare de calcul cu relațiile (2.12).

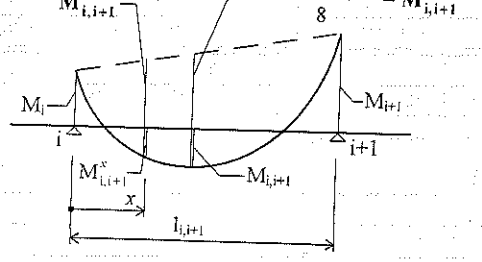


Fig. 2.8

2.5 Exemple de calcul

Exemplul 2.5.1

Să se proiecteze placa monolită a planşeului parcajului subteran prezentat în figura 2.9. Încărcările cvasipermanente la nivelul terenului au valoarea de 5,00 kN/m^2.

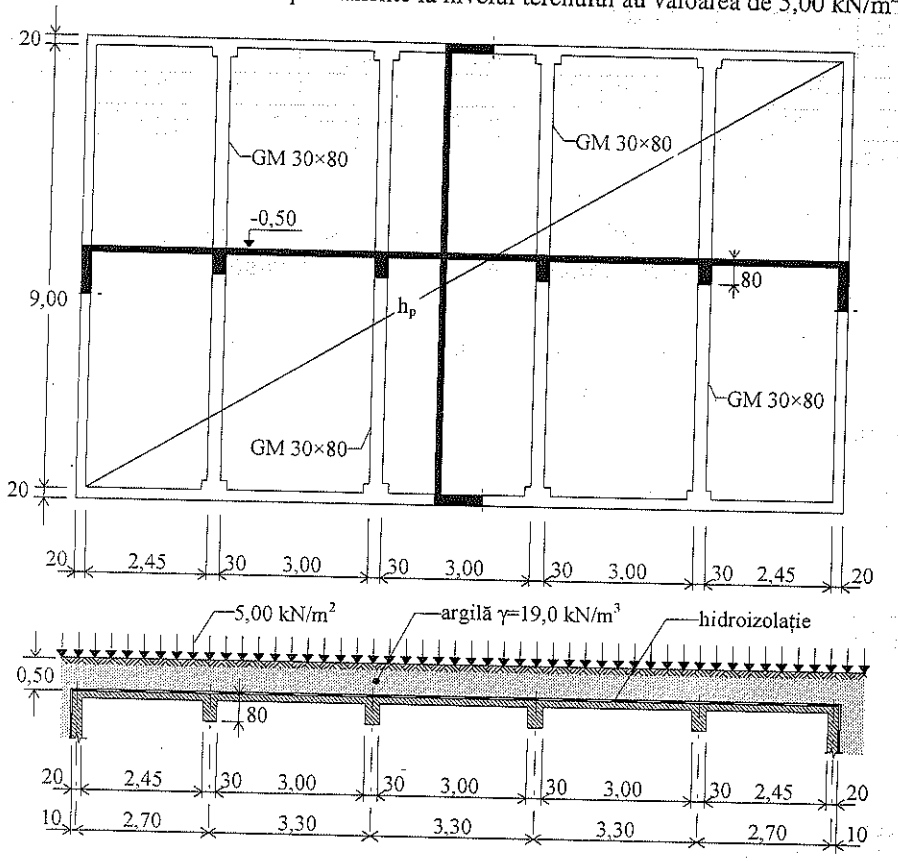


Fig. 2.9

• raportul minim al deschiderilor ochiurilor plăci 9,00/3,00=3,00>2

$\Rightarrow$ placă continuă armată pe o direcție;

• grosimea minimă recomandată (p. 1.3.2):

$$h_{pmin} = \begin{cases} l_{max}/30 = 3.000/30 = 100 \text{ mm} \\ 60 \text{ mm} \end{cases};$$

• se adoptă h_p=120 mm.

Acțiuni

Denumirea acțiunii	A^n (kN/m)	n^d	A^{ld} (kN/m)	n	A (kN/m)
Acțiuni permanente					
- greutatea proprie a plăcii: 0,12m×25,0kN/m^3×1,0m	3,00	1,0	3,00	1,1	3,30
- greutate hidroizolație: 0,25kN/m^2×1,0m	0,25	1,0	0,25	1,3	0,33
- greutate strat de argilă: 19,0 kN/m^3×0,5m×1,0m	9,50	1,0	9,50	1,2	11,40
TOTAL	g^n=12,75		g^{ld}=12,75		g=15,03
Acțiuni temporare					
- încărcarea cvasipermanentă: 5,00kN/m^2×1,0m	5,00	1,0	5,00	1,2	6,00
TOTAL	p^n=5,00		p^{ld}=5,00		p=6,00

Schema statică (fig. 2.10). Deschideri de calcul

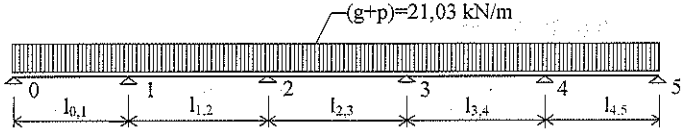


Fig. 2.10

• schema statică este de grindă continuă cu secțiunea constantă 1.000×120 (mm×mm);

• având în vedere monolitismul legăturilor deschiderile de calcul sunt (p. 1.2.1):

$l_{0,1}$=2,45 m $l_{1,2}$=3,00 m $l_{2,3}$=3,00 m $l_{3,4}$=3,00 m $l_{4,5}$=2,45 m

Calculul static

• deoarece:

– raportul minim al deschiderilor de calcul $l_{min}/l_{max} = l_{0,1}/l_{1,2} = 2,45/3,00 = 0,82$ rezultă că deschiderile de calcul diferă cu mai mult de 10% dar nu mai mult de 20%;

– $v = q^{ld}/q^n = (12,75+5,00)/(12,75+5,00) = 1,00 > 0,75$;

– sarcina totală (g+p) este uniform distribuită;

calculul static se va efectua în domeniul elastic în conformitate cu prevederile paragrafului 2.2.1; solicitările în secțiunile plăcii se determină cu relațiile (2.1);

• momentele încovoietoare maxime în câmpuri sunt:

$$M_{0,1} = +0,0779(g+p)l_{0,1}^2 = +0,0779\times(15,03+6,00)\times 2,45^2 =$$

$$= +9,83 \text{ kNm} > \frac{(g+p)l_{0,1}^2}{24} = \frac{(15,03+6,00)\times 2,45^2}{24} = +5,26 \text{ kNm}$$

$$M_{1,2} = +0,0329(g+p)l_{1,2}^2 = +0,0329\times(15,03+6,00)\times 3,00^2 =$$

$$= +6,23 \text{ kNm} < \frac{(g+p)l_{1,2}^2}{24} = \frac{(15,03+6,00)\times 3,00^2}{24} = +7,89 \text{ kNm}$$

$$\Rightarrow M_{1,2} = +7,89 \text{ kNm}$$

$$= +8{,}73 \text{ kNm} > \frac{(g+p)l_{2,3}^2}{24} = \frac{(15{,}03+6{,}00)\times 3{,}00^2}{24} = +7{,}89 \text{ kNm}$$

$$M_{3,4} = +0{,}0329(g+p)l_{3,4}^2 = +0{,}0329\times(15{,}03+6{,}00)\times 3{,}00^2 =$$

$$= +6{,}23 \text{ kNm} < \frac{(g+p)l_{3,4}^2}{24} = \frac{(15{,}03+6{,}00)\times 3{,}00^2}{24} = +7{,}89 \text{ kNm}$$

$$\Rightarrow M_{3,4} = +7{,}89 \text{ kNm}$$

$$M_{4,5} = +0{,}0779(g+p)l_{4,5}^2 = +0{,}0779\times(15{,}03+6{,}00)\times 2{,}45^2 =$$

$$= +9{,}83 \text{ kNm} > \frac{(g+p)l_{4,5}^2}{24} = \frac{(15{,}03+6{,}00)\times 2{,}45^2}{24} = +5{,}26 \text{ kNm}$$

• momentele maxime pe reazeme sunt:

$$M_1 = -0{,}1053(g+p)\left(\frac{l_{0,1}+l_{1,2}}{2}\right)^2 =$$

$$= -0{,}1053\times(15{,}03+6{,}00)\times\left(\frac{2{,}45+3{,}00}{2}\right)^2 = -16{,}44 \text{ kNm}$$

$$M_2 = -0{,}0789(g+p)\left(\frac{l_{1,2}+l_{2,3}}{2}\right)^2 =$$

$$= -0{,}0789\times(15{,}03+6{,}00)\times\left(\frac{3{,}00+3{,}00}{2}\right)^2 = -14{,}93 \text{ kNm}$$

$$M_3 = -0{,}0789(g+p)\left(\frac{l_{2,3}+l_{3,4}}{2}\right)^2 =$$

$$= -0{,}0789\times(15{,}03+6{,}00)\times\left(\frac{3{,}00+3{,}00}{2}\right)^2 = -14{,}93 \text{ kNm}$$

$$M_4 = -0{,}1053(g+p)\left(\frac{l_{3,4}+l_{4,5}}{2}\right)^2 =$$

$$= -0{,}1053\times(15{,}03+6{,}00)\times\left(\frac{3{,}00+2{,}45}{2}\right)^2 = -16{,}44 \text{ kNm}$$

• deoarece placa este mărginită pe tot conturul de legături monolite, momentele încovoietoare maxime se pot reduce în câmpurile intermediare şi pe reazemele centrale cu cel mult 20%; având în vedere că în primul şi ultimul câmp intermediar (1,2 şi respectiv 3,4) momentele de calcul au valori minime admise, această reducere se va putea efectua doar în câmpul central (2,3) şi reazemele centrale (2 şi respectiv 3):

$$M_{2,3}^{red} = 0{,}8M_{2,3} = 0{,}8\times(+8{,}73) = +6{,}98 \text{ kNm} < \frac{(g+p)l_{2,3}^2}{24} = +7{,}89 \text{ kNm}$$

$$\Rightarrow M_{2,3}^{red} = +7{,}89 \text{ kNm}$$

$$M_2^{red} = 0{,}8M_2 = 0{,}8\times(-14{,}93) = -11{,}94 \text{ kNm}$$

$$M_3^{red} = 0{,}8M_3 = 0{,}8\times(-14{,}93) = -11{,}94 \text{ kNm}$$

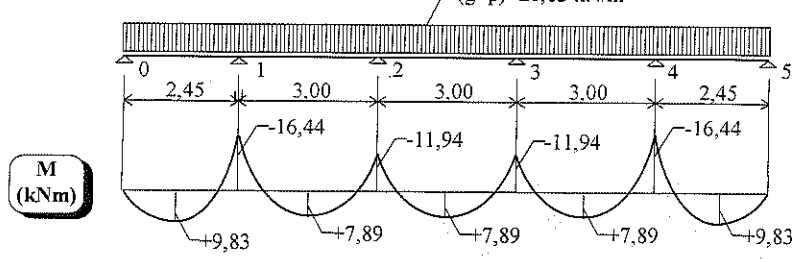


Fig. 2.11

• forţele tăietoare de calcul sunt:

$$Q_{0,1} = +0{,}3947(g+p)l_{0,1} = +0{,}3947\times(15{,}03+6{,}00)\times 2{,}45 = +20{,}34 \text{ kN}$$

$$Q_{1,0} = -0{,}6053(g+p)l_{0,1} = -0{,}6053\times(15{,}03+6{,}00)\times 2{,}45 = -31{,}19 \text{ kN}$$

$$Q_{1,2} = +0{,}5263(g+p)l_{1,2} = +0{,}5263\times(15{,}03+6{,}00)\times 3{,}00 = +33{,}20 \text{ kN}$$

$$Q_{2,1} = -0{,}4737(g+p)l_{1,2} = -0{,}4737\times(15{,}03+6{,}00)\times 3{,}00 = -29{,}89 \text{ kN}$$

$$Q_{2,3} = +0{,}5000(g+p)l_{2,3} = +0{,}5000\times(15{,}03+6{,}00)\times 3{,}00 = +31{,}55 \text{ kN}$$

$$Q_{3,2} = -0{,}5000(g+p)l_{2,3} = -0{,}5000\times(15{,}03+6{,}00)\times 3{,}00 = -31{,}55 \text{ kN}$$

$$Q_{3,4} = +0{,}4737(g+p)l_{3,4} = +0{,}4737\times(15{,}03+6{,}00)\times 3{,}00 = +29{,}89 \text{ kN}$$

$$Q_{4,3} = -0{,}5263(g+p)l_{4,3} = -0{,}5263\times(15{,}03+6{,}00)\times 3{,}00 = -33{,}20 \text{ kN}$$

$$Q_{0,1} = +0{,}6053(g+p)l_{0,1} = +0{,}6053\times(15{,}03+6{,}00)\times 2{,}45 = +31{,}19 \text{ kN}$$

$$Q_{1,0} = -0{,}3947(g+p)l_{0,1} = -0{,}3947\times(15{,}03+6{,}00)\times 2{,}45 = -20{,}34 \text{ kN}$$

• în valoare absolută, forţa tăietoare maximă de calcul este:

$$Q_{max} = |Q_{1,2}| = |Q_{4,3}| = 33{,}20 \text{ kN}$$

Dimensionarea

Materiale

• beton Bc 15, cu $R_{ck} = 12{,}50$ MPa, $R_{tk} = 1{,}19$ MPa (anexa II, tab. II.1):
– $R_c^* = 9{,}50$ MPa, $m_{bc}=1{,}0$, $R_t^* = 1{,}19$ MPa, $m_{bt}=1{,}0$ (anexa II, tab. II.1):

$$R_c = m_{bc}\cdot R_c^* = 1{,}0\times 9{,}50 = 9{,}50 \text{ MPa}$$

$$R_t = m_{bt}\cdot R_t^* = 1{,}0\times 0{,}80 = 0{,}80 \text{ MPa}$$

• oţel PC 52, cu $R_{ak} = 355$ MPa (anexa II, tab. II.2):
– $R_a^* = 300$ MPa, $m_a=1{,}0$ (anexa II, tab. II.2):

$$R_a = m_a\cdot R_a^* = 1{,}0\times 300 = 300 \text{ MPa}$$

Mărimi geometrice ale secţiunii

• pentru plăci din categoria III-a din punctul de vedere al condiţiilor de expunere:

$$a \geq \begin{cases} 20 \text{ mm (p.1.3.1, tab. 1.1)} \\ 1{,}2d \cong 1{,}2\times 10 = 12 \text{ mm (p.1.3.1)} \end{cases} \Rightarrow a = 20 \text{ mm}$$

• înălţimea utilă a plăcii: $h_0 = h_p - \left(a + \frac{d}{2}\right) \cong 120 - \left(20 + \frac{10}{2}\right) = 95$ mm

• câmpul 0,1

$$m_{0,1}=\frac{M_{0,1}}{b\cdot h_0^2\cdot R_c}=\frac{9{,}83\times10^6}{1.000\times95^2\times9{,}50}=0{,}1147<m_b=0{,}4$$

$$\Rightarrow p^c_{0,1}=p_{0,1}=0{,}387\%>0{,}100\%$$

$$A_a^{0,1}=\frac{p_{0,1}}{100}b\cdot h_0=\frac{0{,}387}{100}\times1.000\times95=368\ mm^2$$

$$A_{aef}^{0,1}=387\ mm^2\ (3\ \varnothing10/m+3\ \varnothing8/m)$$

• câmpul 1,2

$$m_{1,2}=\frac{M_{1,2}}{b\cdot h_0^2\cdot R_c}=\frac{7{,}89\times10^6}{1.000\times95^2\times9{,}50}=0{,}0920<m_b=0{,}4$$

$$\Rightarrow p^c_{1,2}=p_{1,2}=0{,}306\%>0{,}100\%$$

$$A_a^{1,2}=\frac{p_{1,2}}{100}b\cdot h_0=\frac{0{,}306}{100}\times1.000\times95=291\ mm^2$$

$$A_{aef}^{1,2}=302\ mm^2\ (6\ \varnothing8/m)$$

• câmpul 2,3

$$m_{2,3}=\frac{M^{red}_{2,3}}{b\cdot h_0^2\cdot R_c}=\frac{7{,}89\times10^6}{1.000\times95^2\times9{,}50}=0{,}0920<m_b=0{,}4$$

$$\Rightarrow p^c_{2,3}=p_{2,3}=0{,}306\%>0{,}100\%$$

$$A_a^{2,3}=\frac{p_{2,3}}{100}b\cdot h_0=\frac{0{,}306}{100}\times1.000\times95=291\ mm^2$$

$$A_{aef}^{2,3}=302\ mm^2\ (6\ \varnothing8/m)$$

• câmpul 3,4

$$m_{3,4}=\frac{M_{3,4}}{b\cdot h_0^2\cdot R_c}=\frac{7{,}89\times10^6}{1.000\times95^2\times9{,}50}=0{,}0920<m_b=0{,}4$$

$$\Rightarrow p^c_{3,4}=p_{3,4}=0{,}306\%>0{,}100\%$$

$$A_a^{3,4}=\frac{p_{3,4}}{100}b\cdot h_0=\frac{0{,}306}{100}\times1.000\times95=291\ mm^2$$

$$A_{aef}^{3,4}=302\ mm^2\ (6\ \varnothing8/m)$$

• câmpul 4,5

$$m_{4,5}=\frac{M_{4,5}}{b\cdot h_0^2\cdot R_c}=\frac{9{,}83\times10^6}{1.000\times95^2\times9{,}50}=0{,}1147<m_b=0{,}4$$

$$\Rightarrow p^c_{4,5}=p_{4,5}=0{,}387\%>0{,}100\%$$

$$A_a^{4,5}=\frac{p_{4,5}}{100}b\cdot h_0=\frac{0{,}387}{100}\times1.000\times95=368\ mm^2$$

$$A_{aef}^{4,5}=387\ mm^2\ (3\ \varnothing10/m+3\ \varnothing8/m)$$

Armarea reazemelor

• reazemul 1

$$m_1=\frac{M_1}{b\cdot h_0^2\cdot R_c}=\frac{16{,}44\times10^6}{1.000\times95^2\times9{,}50}=0{,}1917<m_b=0{,}4$$

$$\Rightarrow p^c_1=p_1=0{,}680\%>0{,}100\%$$

$$A_{aef}^{1}=622\ mm^2\ (6\ \varnothing10/m+3\ \varnothing8/m)$$

• reazemul 2

$$m_2=\frac{M^{red}_2}{b\cdot h_0^2\cdot R_c}=\frac{11{,}94\times10^6}{1.000\times95^2\times9{,}50}=0{,}1393<m_b=0{,}4$$

$$\Rightarrow p^c_2=p_2=0{,}477\%>0{,}100\%$$

$$A_a^{2}=\frac{p_2}{100}b\cdot h_0=\frac{0{,}477}{100}\times1.000\times95=453\ mm^2$$

$$A_{aef}^{2}=453\ mm^2\ (9\ \varnothing8/m)$$

• reazemul 3

$$m_3=\frac{M^{red}_3}{b\cdot h_0^2\cdot R_c}=\frac{11{,}94\times10^6}{1.000\times95^2\times9{,}50}=0{,}1393<m_b=0{,}4$$

$$\Rightarrow p^c_3=p_3=0{,}477\%>0{,}100\%$$

$$A_a^{3}=\frac{p_3}{100}b\cdot h_0=\frac{0{,}477}{100}\times1.000\times95=453\ mm^2$$

$$A_{aef}^{3}=453\ mm^2\ (9\ \varnothing8/m)$$

• reazemul 4

$$m_4=\frac{M_4}{b\cdot h_0^2\cdot R_c}=\frac{16{,}44\times10^6}{1.000\times95^2\times9{,}50}=0{,}1917<m_b=0{,}4$$

$$\Rightarrow p^c_4=p_4=0{,}680\%>0{,}100\%$$

$$A_a^{4}=\frac{p_4}{100}b\cdot h_0=\frac{0{,}680}{100}\times1.000\times95=646\ mm^2$$

$$A_{aef}^{4}=622\ mm^2\ (6\ \varnothing10/m+3\ \varnothing8/m)$$

Verificarea la acțiunea forței tăietoare

• înlocuind forța tăietoare maximă în relația (1.18) se obține:

$$\overline{Q}=\frac{Q_{max}}{b\cdot h_0\cdot R_t}=\frac{33{,}20\times10^3}{1.000\times95\times0{,}80}=0{,}44<0{,}75$$

⇒ nu este necesară dimensionarea de armătură pentru acțiunea forței tăietoare.

Schița de armare (fig. 2.12)

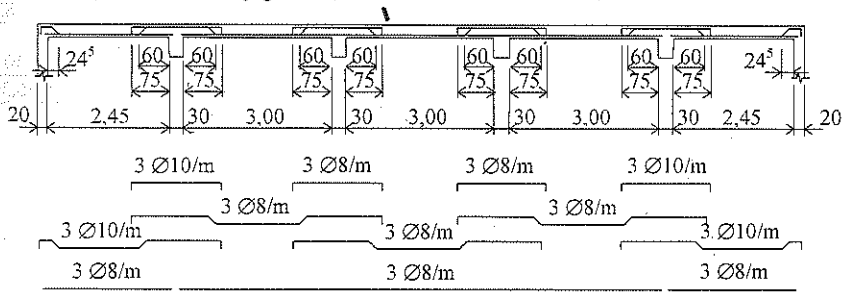


Fig. 2.12

Să se proiecteze placa monolită a planşeului intermediar alcătuit ca în figura 2.13. Încărcarea utilă la nivelul planşeului este de 5,00 kN/m^2, iar pardoseala este confecţionată din covor PVC.

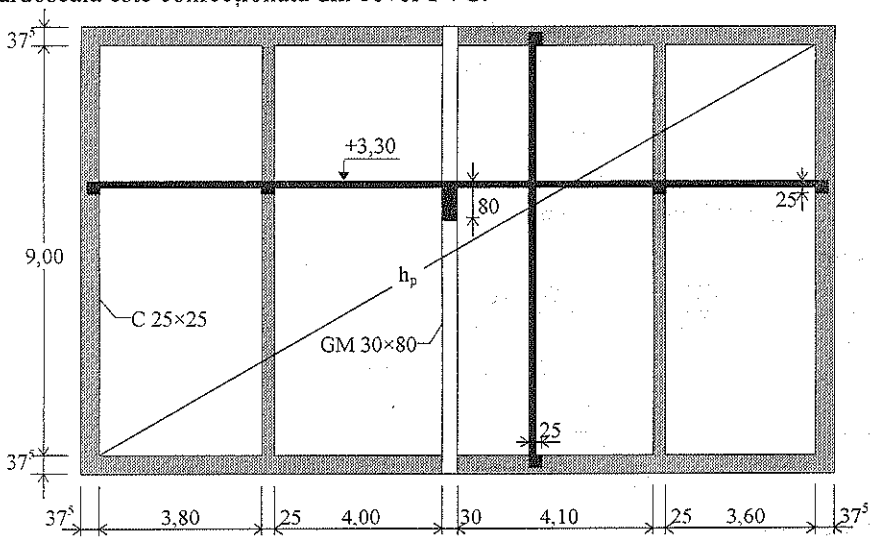


Fig. 2.13

Sistemul constructiv

- raportul minim al deschiderilor ochiurilor plăcii 9,00/4,10=2,20>2
  $\Rightarrow$ placă continuă armată pe o direcţie;
- grosimea minimă recomandată (p. 1.3.2):

$$h_{pmin} = \begin{cases} l_{max}/30 = 4.100/30 = 137 \text{ mm} \\ 60 \text{ mm} \end{cases};$$

- se adoptă h_p=140 mm.

Acţiuni

Denumirea acţiunii	A^n (kN/m)	n^d	A^{ld} (kN/m)	n	A (kN/m)
Acţiuni permanente					
- greutatea proprie a plăcii: 0,14m×25,0kN/m^3×1,0m	3,50	1,0	3,50	1,1	3,85
- pardoseală PVC: 0,75kN/m^2×1,0m	0,75	1,0	0,75	1,3	0,98
TOTAL	g^n=4,25		g^{ld}=4,25		g=4,83
Acţiuni temporare					
- încărcarea utilă: 5,00kN/m^2×1,0m	5,00	0,8	4,00	1,3	6,50
TOTAL	p^n=5,00		p^{ld}=4,00		p =6,50

Schema statică (fig. 2.14). Deschideri de calcul

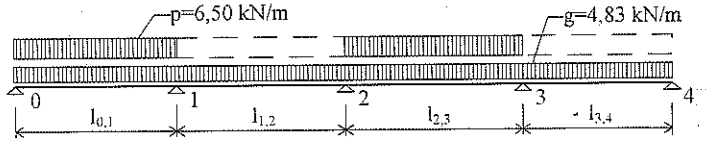


Fig. 2.14

- având în vedere monolitismul legăturilor deschiderile de calcul sunt (p. 1.2.1):

$l_{0,1}$=3,80 m $l_{1,2}$=4,00 m $l_{2,3}$=4,10 m $l_{3,4}$=3,60 m

Calculul static

- deoarece:
  - raportul minim al deschiderilor de calcul este $l_{min}/l_{max} = l_{3,4}/l_{2,3} = 3,60/4,10 = 0,88$ rezultă că deschiderile de calcul diferă cu mai mult de 10% dar nu mai mult de 20%;
  - $v = q^{ld}/q = (4,25+4,00)/(4,83+6,50) = 0,73 < 0,75$;
  - încărcarea temporară p prezintă mai multe scheme de încărcare;

calculul static se va efectua în domeniul elastic în conformitate cu prevederile paragrafului 2.2.2; în exemplul 2.5.6 este prezentată şi dimensionarea plăcii obţinută pe baza unui calculul plastic prin modificarea rezultatelor calculului în domeniul elastic;

- încărcările convenţionale de calcul sunt:
  - încărcarea permanentă convenţională:

$$g_c = g + p/2 = 4,83 + 6,50/2 = 8,08 \text{ kN/m}$$

  - încărcarea temporară convenţională:

$$p_c = p/2 = 6,50/2 = 3,25 \text{ kN/m}$$

- solicitările în secţiunile plăcii se determină cu relaţiile (2.2);
- momentele încovoietoare maxime şi minime în câmpuri sunt:

$$M_{0,1}^{max} = (+0,0771g_c + 0,0936p_c)l_{0,1}^2 = (+0,0771\times8,08 + 0,0936\times3,25)\times3,80^2 =$$
$$= +13,39 \text{ kNm} > \frac{(g+p)l_{0,1}^2}{24} = \frac{(4,83+6,50)\times3,80^2}{24} = +6,82 \text{ kNm}$$

$$M_{0,1}^{min} = (+0,0771g_c - 0,0214p_c)l_{0,1}^2 = (+0,0771\times8,08 - 0,0214\times3,25)\times3,80^2 =$$
$$= +7,99 \text{ kNm} > 0 \text{ kNm}$$

$$M_{1,2}^{max} = (+0,0357g_c + 0,0804p_c)l_{1,2}^2 = (+0,0357\times8,08 + 0,0804\times3,25)\times4,00^2 =$$
$$= +8,80 \text{ kNm} > \frac{(g+p)l_{1,2}^2}{24} = \frac{(4,83+6,50)\times4,00^2}{24} = +7,55 \text{ kNm}$$

$$M_{1,2}^{min} = (+0,0357g_c - 0,0446p_c)l_{1,2}^2 = (+0,0357\times8,08 - 0,0446\times3,25)\times4,00^2 =$$
$$= +2,30 \text{ kNm} > 0 \text{ kNm}$$

$$M_{2,3}^{max} = (+0,0357g_c + 0,0804p_c)l_{2,3}^2 = (+0,0357\times8,08 + 0,0804\times3,25)\times4,10^2 =$$
$$= +9,24 \text{ kNm} > \frac{(g+p)l_{2,3}^2}{24} = \frac{(4,83+6,50)\times4,10^2}{24} = +7,94 \text{ kNm}$$

$$M_{2,3}^{min} = (+0,0357g_c - 0,0446p_c)l_{2,3}^2 = (+0,0357\times8,08 - 0,0446\times3,25)\times4,10^2 =$$
$$= +2,41 \text{ kNm} > 0 \text{ kNm}$$

$$M_{3,4}^{max} = (+0,0771g_c + 0,0936p_c)l_{3,4}^2 = (+0,0771\times8,08 + 0,0936\times3,25)\times3,60^2 =$$
$$= +12,02 \text{ kNm} > \frac{(g+p)l_{3,4}^2}{24} = \frac{(4,83+6,50)\times3,60^2}{24} = +6,12 \text{ kNm}$$

$$M_{3,4}^{min} = (+0,0771g_c - 0,0214p_c)l_{3,4}^2 = (+0,0771\times8,08 - 0,0214\times3,25)\times3,60^2 =$$
$$= +7,17 \text{ kNm} > 0 \text{ kNm}$$

$$M_1^{max} = (-0{,}1071g_c - 0{,}1205p_c)\left(\frac{l_{0,1}+l_{1,2}}{2}\right)^2 =$$

$$= (-0{,}1071\times 8{,}08 - 0{,}1205\times 3{,}25)\times\left(\frac{3{,}80+4{,}00}{2}\right)^2 = -19{,}12 \text{ kNm}$$

$$M_2^{max} = (-0{,}0714g_c - 0{,}1071p_c)\left(\frac{l_{1,2}+l_{2,3}}{2}\right)^2 =$$

$$= (-0{,}0714\times 8{,}08 - 0{,}1071\times 3{,}25)\times\left(\frac{4{,}00+4{,}10}{2}\right)^2 = -15{,}17 \text{ kNm}$$

$$M_3^{max} = (-0{,}1071g_c - 0{,}1205p_c)\left(\frac{l_{2,3}+l_{3,4}}{2}\right)^2 =$$

$$= (-0{,}1071\times 8{,}08 - 0{,}1205\times 3{,}25)\times\left(\frac{4{,}10+3{,}60}{2}\right)^2 = -18{,}63 \text{ kNm}$$

• datorită monolitismului legăturilor pe tot conturul, momentele încovoietoare maxime se pot reduce în câmpurile intermediare şi pe reazemul central cu maximum 20%:

$$M_{1,2}^{red} = 0{,}8M_{1,2}^{max} = 0{,}8\times(+8{,}80) = +7{,}04 \text{ kNm} < \frac{(g+p)l_{1,2}^2}{24} = +7{,}55 \text{ kNm}$$

$$\Rightarrow M_{1,2}^{red} = +7{,}55 \text{ kNm}$$

$$M_{2,3}^{red} = 0{,}8M_{2,3}^{max} = 0{,}8\times(+9{,}24) = +7{,}39 \text{ kNm} < \frac{(g+p)l_{2,3}^2}{24} = +7{,}94 \text{ kNm}$$

$$\Rightarrow M_{2,3}^{red} = +7{,}94 \text{ kNm}$$

$$M_2^{red} = 0{,}8M_2^{max} = 0{,}8\times(-15{,}17) = -12{,}14 \text{ kNm}$$

• diagrama momentelor încovoietoare de dimensionare este prezentată în figura 2.15.

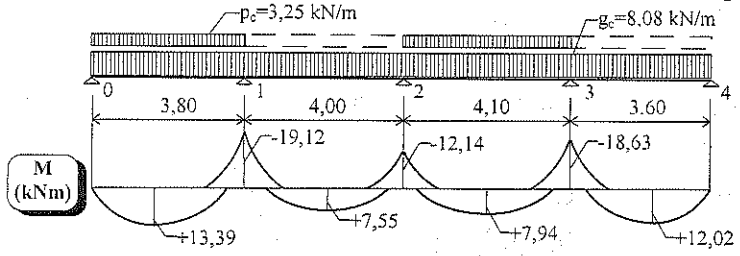


Fig. 2.15

• forţele tăietoare de calcul sunt:

$$Q_{0,1}^{max} = (+0{,}3929g_c + 0{,}4464p_c)l_{0,1} =$$

$$= (+0{,}3929\times 8{,}08 + 0{,}4464\times 3{,}25)\times 3{,}80 = +17{,}6 \text{ kN}$$

$$Q_{0,1}^{min} = (+0{,}3929g_c - 0{,}0535p_c)l_{0,1} =$$

$$= (+0{,}3929\times 8{,}08 - 0{,}0535\times 3{,}25)\times 3{,}80 = +11{,}4 \text{ kN}$$

$$Q_{1,0}^{max} = (-0{,}6071g_c + 0{,}0134p_c)l_{0,1} =$$

$$= (-0{,}6071\times 8{,}08 + 0{,}0134\times 3{,}25)\times 3{,}80 = -18{,}5 \text{ kN}$$

$$= (-0{,}6071\times 8{,}08 - 0{,}6205\times 3{,}25)\times 3{,}80 = -26{,}3 \text{ kN}$$

$$Q_{1,2}^{max} = (+0{,}5357g_c + 0{,}6027p_c)l_{1,2} =$$

$$= (+0{,}5357\times 8{,}08 + 0{,}6027\times 3{,}25)\times 4{,}00 = +25{,}1 \text{ kN}$$

$$Q_{1min}^{dr} = Q_{1,2}^{min} = (+0{,}5357g_c - 0{,}0670p_c)l_{1,2} =$$

$$= (+0{,}5357\times 8{,}08 - 0{,}0670\times 3{,}25)\times 4{,}00 = +16{,}4 \text{ kN}$$

$$Q_{2max}^{st} = Q_{2,1}^{max} = (-0{,}4643g_c + 0{,}1071p_c)l_{1,2} =$$

$$= (-0{,}4643\times 8{,}08 + 0{,}1071\times 3{,}25)\times 4{,}00 = -13{,}6 \text{ kN}$$

$$Q_{2min}^{st} = Q_{2,1}^{min} = (-0{,}4643g_c - 0{,}5714p_c)l_{1,2} =$$

$$= (-0{,}4643\times 8{,}08 - 0{,}5714\times 3{,}25)\times 4{,}00 = -22{,}4 \text{ kN}$$

$$Q_{2max}^{dr} = Q_{2,3}^{max} = (+0{,}4643g_c + 0{,}5714p_c)l_{2,3} =$$

$$= (+0{,}4643\times 8{,}08 + 0{,}5714\times 3{,}25)\times 4{,}10 = +23{,}0 \text{ kN}$$

$$Q_{2min}^{dr} = Q_{2,3}^{min} = (+0{,}4643g_c - 0{,}1071p_c)l_{2,3} =$$

$$= (+0{,}4643\times 8{,}08 - 0{,}1071\times 3{,}25)\times 4{,}10 = +13{,}9 \text{ kN}$$

$$Q_{3max}^{st} = Q_{3,2}^{max} = (-0{,}5357g_c + 0{,}0670p_c)l_{2,3} =$$

$$= (-0{,}5357\times 8{,}08 + 0{,}0670\times 3{,}25)\times 4{,}10 = -16{,}9 \text{ kN}$$

$$Q_{3min}^{st} = Q_{3,2}^{min} = (-0{,}5357g_c - 0{,}6027p_c)l_{2,3} =$$

$$= (-0{,}5357\times 8{,}08 - 0{,}6027\times 3{,}25)\times 4{,}10 = -25{,}8 \text{ kN}$$

$$Q_{3max}^{dr} = Q_{3,4}^{max} = (+0{,}6071g_c + 0{,}6205p_c)l_{3,4} =$$

$$= (+0{,}6071\times 8{,}08 + 0{,}6205\times 3{,}25)\times 3{,}60 = +24{,}9 \text{ kN}$$

$$Q_{3min}^{dr} = Q_{3,4}^{min} = (+0{,}6071g_c - 0{,}0134p_c)l_{3,4} =$$

$$= (+0{,}6071\times 8{,}08 - 0{,}0134\times 3{,}25)\times 3{,}60 = +17{,}5 \text{ kN}$$

$$Q_{4max}^{st} = Q_{4,3}^{max} = (-0{,}3929g_c + 0{,}0535p_c)l_{3,4} =$$

$$= (-0{,}3929\times 8{,}08 + 0{,}0535\times 3{,}25)\times 3{,}60 = -10{,}8 \text{ kN}$$

$$Q_{4min}^{st} = Q_{4,3}^{min} = (-0{,}3929g_c - 0{,}4464p_c)l_{3,4} =$$

$$= (-0{,}3929\times 8{,}08 - 0{,}4464\times 3{,}25)\times 3{,}60 = -16{,}7 \text{ kN}$$

• în valoare absolută, forţa tăietoare maximă de calcul este:

$$Q_{max} = |Q_{1min}^{st}| = 26{,}3 \text{ kN}$$

Dimensionarea

Materiale

• beton Bc 15, cu $R_{ck} = 12{,}50$ MPa, $R_{tk} = 1{,}19$ MPa (anexa II, tab. II.1):

– $R_c^* = 9{,}50$ MPa, $m_{bc}=1{,}0$, $R_t^* = 1{,}19$ MPa, $m_{bt}=1{,}0$ (anexa II, tab. II.1):

$$R_c = m_{bc}\cdot R_c^* = 1{,}0\times 9{,}50 = 9{,}50 \text{ MPa}$$

$$R_t = m_{bt}\cdot R_t^* = 1{,}0\times 0{,}80 = 0{,}80 \text{ MPa}$$

• oţel PC 52, cu $R_{ak} = 355$ MPa (anexa II, tab. II.2):

– $R_a^* = 300$ MPa, $m_a=1{,}0$ (anexa II, tab. II.2):

$$R_a = m_a\cdot R_a^* = 1{,}0\times 300 = 300 \text{ MPa}$$

• pentru plăci din categoria 1-a din punctul de vedere al condițiilor de expunere:

$$a \geq \begin{cases} 10 \text{ mm (p.1.3.1, tab. 1.1)} \\ 1{,}2d \cong 1{,}2 \times 10 = 12 \text{ mm (p.1.3.1)} \end{cases} \Rightarrow a = 15 \text{ mm}$$

• înălțimea utilă a plăcii: $h_0 = h_p - \left(a + \frac{d}{2}\right) \cong 140 - \left(15 + \frac{10}{2}\right) = 120$ mm

Armarea câmpurilor

• câmpul 0,1

$$m_{0,1} = \frac{M_{0,1}^{max}}{b \cdot h_0^2 \cdot R_c} = \frac{13{,}39 \times 10^6}{1.000 \times 120^2 \times 9{,}50} = 0{,}0979 < m_b = 0{,}4$$

$$\Rightarrow p_{0,1}^c = p_{0,1} = 0{,}327\% > 0{,}100\%$$

$$A_a^{0,1} = \frac{p_{0,1}}{100} b \cdot h_0 = \frac{0{,}327}{100} \times 1.000 \times 120 = 393 \text{ mm}^2$$

$$A_{aef}^{0,1} = 387 \text{ mm}^2 \ (3\ \varnothing 8/\text{m} + 3\ \varnothing 10/\text{m})$$

• câmpul 1,2

$$m_{1,2} = \frac{M_{1,2}^{red}}{b \cdot h_0^2 \cdot R_c} = \frac{7{,}55 \times 10^6}{1.000 \times 120^2 \times 9{,}50} = 0{,}0552 < m_b = 0{,}4$$

$$\Rightarrow p_{1,2}^c = p_{1,2} = 0{,}180\% > 0{,}100\%$$

$$A_a^{1,2} = \frac{p_{1,2}}{100} b \cdot h_0 = \frac{0{,}180}{100} \times 1.000 \times 120 = 216 \text{ mm}^2$$

$$A_{aef}^{1,2} = 226 \text{ mm}^2 \ (4{,}5\ \varnothing 8/300)$$

• câmpul 2,3

$$m_{2,3} = \frac{M_{2,3}^{red}}{b \cdot h_0^2 \cdot R_c} = \frac{7{,}94 \times 10^6}{1.000 \times 120^2 \times 9{,}50} = 0{,}0580 < m_b = 0{,}4$$

$$\Rightarrow p_{2,3}^c = p_{2,3} = 0{,}189\% > 0{,}100\%$$

$$A_a^{2,3} = \frac{p_{2,3}}{100} b \cdot h_0 = \frac{0{,}189}{100} \times 1.000 \times 120 = 227 \text{ mm}^2$$

$$A_{aef}^{2,3} = 226 \text{ mm}^2 \ (4{,}5\ \varnothing 8/\text{m})$$

• câmpul 3,4

$$m_{3,4} = \frac{M_{3,4}^{max}}{b \cdot h_0^2 \cdot R_c} = \frac{12{,}02 \times 10^6}{1.000 \times 120^2 \times 9{,}50} = 0{,}0879 < m_b = 0{,}4$$

$$\Rightarrow p_{3,4}^c = p_{3,4} = 0{,}292\% > 0{,}100\%$$

$$A_a^{3,4} = \frac{p_{3,4}}{100} b \cdot h_0 = \frac{0{,}292}{100} \times 1.000 \times 120 = 350 \text{ mm}^2$$

$$A_{aef}^{3,4} = 387 \text{ mm}^2 \ (3\ \varnothing 8/\text{m} + 3\ \varnothing 10/\text{m})$$

Armarea reazemelor

• reazemul 1

$$m_1 = \frac{M_1^{max}}{b \cdot h_0^2 \cdot R_c} = \frac{19{,}12 \times 10^6}{1.000 \times 120^2 \times 9{,}50} = 0{,}1389 < m_b = 0{,}4$$

$$\Rightarrow p_1^c = p_1 = 0{,}479\% > 0{,}100\%$$

$$A_{aef}^{1} = 579 \text{ mm}^2 \ (4{,}5\ \varnothing 8/\text{m} + 4{,}5\ \varnothing 10/\text{m})$$

• reazemul 2

$$m_2 = \frac{M_2^{red}}{b \cdot h_0^2 \cdot R_c} = \frac{12{,}14 \times 10^6}{1.000 \times 120^2 \times 9{,}50} = 0{,}0887 < m_b = 0{,}4$$

$$\Rightarrow p_2^c = p_2 = 0{,}295\% > 0{,}100\%$$

$$A_a^2 = \frac{p_2}{100} b \cdot h_0 = \frac{0{,}295}{100} \times 1.000 \times 120 = 354 \text{ mm}^2$$

$$A_{aef}^{2} = 387 \text{ mm}^2 \ (3\ \varnothing 8/\text{m} + 3\ \varnothing 10/\text{m})$$

• reazemul 3

$$m_3 = \frac{M_3^{max}}{b \cdot h_0^2 \cdot R_c} = \frac{18{,}63 \times 10^6}{1.000 \times 120^2 \times 9{,}50} = 0{,}1362 < m_b = 0{,}4$$

$$\Rightarrow p_3^c = p_3 = 0{,}465\% > 0{,}100\%$$

$$A_a^3 = \frac{p_3}{100} b \cdot h_0 = \frac{0{,}465}{100} \times 1.000 \times 120 = 559 \text{ mm}^2$$

$$A_{aef}^{3} = 579 \text{ mm}^2 \ (4{,}5\ \varnothing 8/\text{m} + 4{,}5\ \varnothing 10/\text{m})$$

Verificarea la acțiunea forței tăietoare

• înlocuind forța tăietoare maximă în relația (1.18) se obține:

$$\frac{Q_{max}}{b \cdot h_0 \cdot R_t} = \frac{26{,}3 \times 10^3}{1.000 \times 120 \times 0{,}80} = 0{,}27 < 0{,}75$$

⇒ nu este necesară dimensionarea de armătură pentru acțiunea forței tăietoare.

Schița de armare (fig. 2.16)

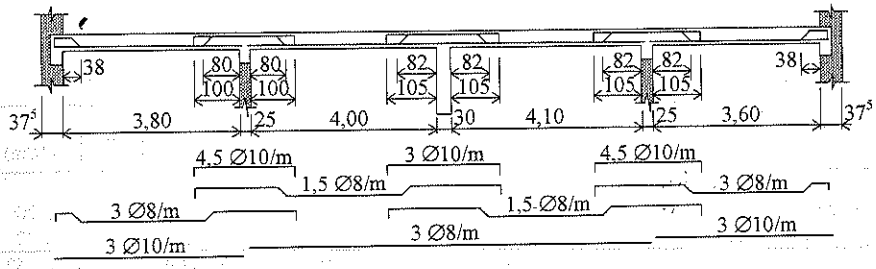


Fig. 2.16

Exemplul 2.5.3

Să se proiecteze placa monolită a planșeului cu grinzi principale și secundare din figura 2.17. Încărcarea utilă la nivelul planșeului este uniform distribuită și are valoarea egală cu 4,00 kN/m², iar pardoseala este confecționată din mozaic.

Sistemul constructiv

• raportul minim al deschiderilor ochiurilor plăcii 5,75/2,475=2,32>2

⇒ placă continuă armată pe o direcție;

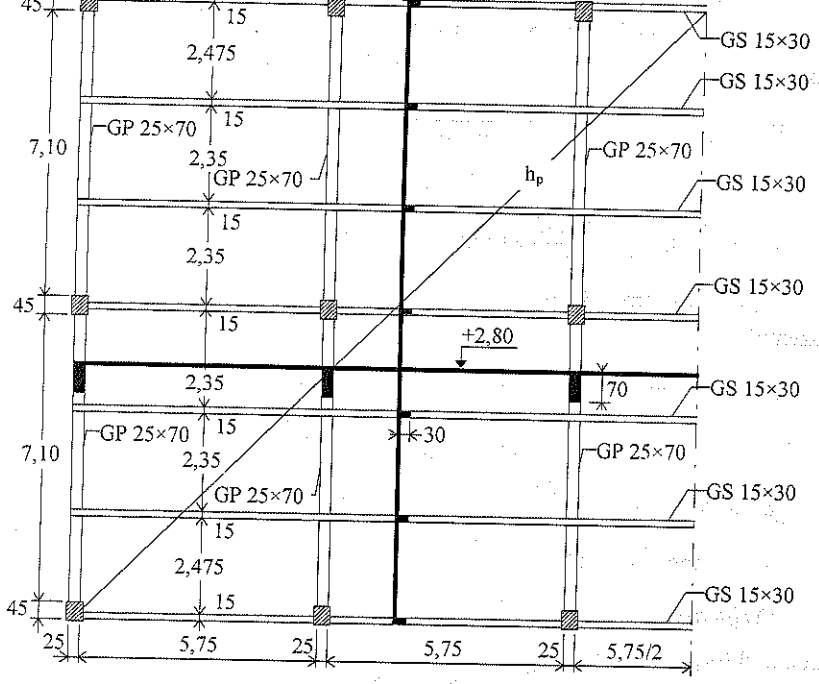


Fig. 2.17

• grosimea minimă recomandată (p. 1.3.2):

$$h_{pmin} = \begin{cases} l_{max}/35 = 2.475/35 = 70.7 \text{ mm} \\ 60 \text{ mm} \end{cases};$$

• se adoptă h_p=80 mm.

Acțiuni

Denumirea acțiunii	A^n (kN/m)	n^d	A^{Id} (kN/m)	n	A (kN/m)
Acțiuni permanente					
- greutatea proprie a plăcii: 0,08m×25,0kN/m^3×1,0m	2,00	1,0	2,00	1,1	2,20
- pardoseală mozaic: 0,94kN/m^2×1,0m	0,94	1,0	0,94	1,3	1,22
TOTAL	g^n=2,94		g^{Id}=2,94		g=3,42
Acțiuni temporare					
- încărcarea utilă: 4,00kN/m^2×1,0m	4,00	0,4	1,60	1,3	5,20
TOTAL	p^n=4,00		p^{Id}=5,20		p=5,20

Schema statică (fig. 2.18). Deschideri de calcul

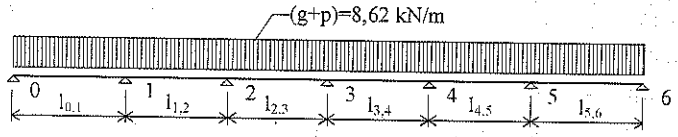


Fig. 2.18

$l_{0,1}$=2,475 m $l_{1,2}$=2,35 m $l_{2,3}$=2,35 m $l_{3,4}$=2,35 m $l_{4,5}$=2,35 m $l_{5,6}$=2,475 m

Calculul static

• deoarece:

– raportul minim al deschiderilor de calcul este $l_{min}/l_{max} = l_{1,2}/l_{0,1} = 2,35/2,475 = 0,95$ rezultă că deschiderile de calcul nu diferă cu mai mult de 10%;

– $v = q^{Id}/q^n = (2,94+1,60)/(2,94+4,00) = 0,65 < 0,75$;

– sarcina totală (g+p) este uniform distribuită;

calculul static se va efectua simplificat în domeniul plastic, în conformitate cu prevederile paragrafului 2.3.1;

• solicitările în secțiunile plăcii se determină cu relațiile (2.3)-(2.9);

• momentele încovoietoare de calcul în câmpuri sunt:

$$M_{0,1} = \frac{1}{11}(g+p)l_{0,1}^2 = \frac{1}{11}\times 8,62\times 2,475^2 = +4,80 \text{ kNm}$$

$$M_{1,2} = \frac{1}{16}(g+p)l_{1,2}^2 = \frac{1}{16}\times 8,62\times 2,35^2 = +2,98 \text{ kNm}$$

$$M_{2,3} = \frac{1}{16}(g+p)l_{2,3}^2 = \frac{1}{16}\times 8,62\times 2,35^2 = +2,98 \text{ kNm}$$

$$M_{3,4} = \frac{1}{16}(g+p)l_{3,4}^2 = \frac{1}{16}\times 8,62\times 2,35^2 = +2,98 \text{ kNm}$$

$$M_{4,5} = \frac{1}{16}(g+p)l_{4,5}^2 = \frac{1}{16}\times 8,62\times 2,35^2 = +2,98 \text{ kNm}$$

$$M_{5,6} = \frac{1}{11}(g+p)l_{5,6}^2 = \frac{1}{11}\times 8,62\times 2,475^2 = +4,80 \text{ kNm}$$

• momentele încovoietoare de calcul pe reazeme au valorile:

$$M_1 = -\frac{1}{14}(g+p)\left[max\left\{l_{0,1};l_{1,2}\right\}\right]^2 = -\frac{1}{14}\times 8,62\times 2,475^2 = -3,77 \text{ kNm}$$

$$M_2 = -\frac{1}{16}(g+p)\left[max\left\{l_{1,2};l_{2,3}\right\}\right]^2 = -\frac{1}{16}\times 8,62\times 2,35^2 = -2,98 \text{ kNm}$$

$$M_3 = -\frac{1}{16}(g+p)\left[max\left\{l_{2,3};l_{3,4}\right\}\right]^2 = -\frac{1}{16}\times 8,62\times 2,35^2 = -2,98 \text{ kNm}$$

$$M_4 = -\frac{1}{16}(g+p)\left[max\left\{l_{3,4};l_{4,5}\right\}\right]^2 = -\frac{1}{16}\times 8,62\times 2,35^2 = -2,98 \text{ kNm}$$

$$M_5 = -\frac{1}{14}(g+p)\left[max\left\{l_{4,5};l_{5,6}\right\}\right]^2 = -\frac{1}{14}\times 8,62\times 2,475^2 = -3,77 \text{ kNm}$$

• diagrama momentelor încovoietoare de calcul este prezentată în figura 2.19.

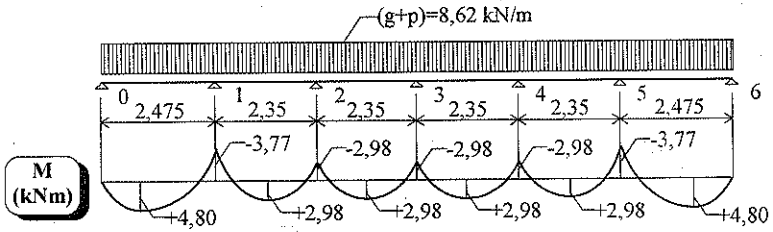


Fig. 2.19

$$Q_1^{st} = -0{,}65\,(g+p)l_{0,1} = -0{,}65\times 8{,}62\times 2{,}475 = -13{,}9 \text{ kN}$$

$$Q_1^{dr} = +0{,}55\,(g+p)l_{1,2} = +0{,}55\times 8{,}62\times 2{,}35 = +11{,}1 \text{ kN}$$

$$Q_2^{st} = -0{,}55\,(g+p)l_{1,2} = -0{,}55\times 8{,}62\times 2{,}35 = -11{,}1 \text{ kN}$$

$$Q_2^{dr} = +0{,}55\,(g+p)l_{2,3} = +0{,}55\times 8{,}62\times 2{,}35 = +11{,}1 \text{ kN}$$

$$Q_3^{st} = -0{,}55\,(g+p)l_{2,3} = -0{,}55\times 8{,}62\times 2{,}35 = -11{,}1 \text{ kN}$$

$$Q_3^{dr} = +0{,}55\,(g+p)l_{3,4} = +0{,}55\times 8{,}62\times 2{,}35 = +11{,}1 \text{ kN}$$

$$Q_4^{st} = -0{,}55\,(g+p)l_{3,4} = -0{,}55\times 8{,}62\times 2{,}35 = -11{,}1 \text{ kN}$$

$$Q_4^{dr} = +0{,}55\,(g+p)l_{4,5} = +0{,}55\times 8{,}62\times 2{,}35 = +11{,}1 \text{ kN}$$

$$Q_5^{st} = -0{,}55\,(g+p)l_{4,5} = -0{,}55\times 8{,}62\times 2{,}35 = -11{,}1 \text{ kN}$$

$$Q_5^{dr} = +0{,}65\,(g+p)l_{5,6} = +0{,}65\times 8{,}62\times 2{,}475 = +13{,}9 \text{ kN}$$

$$Q_6^{st} = -0{,}45\,(g+p)l_{5,6} = -0{,}45\times 8{,}62\times 2{,}475 = -9{,}6 \text{ kN}$$

- în valoare absolută, forța tăietoare maximă de calcul este:

$$Q_{max} = \left|Q_1^{st}\right| = \left|Q_5^{dr}\right| = 13{,}9 \text{ kN}$$

Dimensionarea

Materiale

- beton Bc 20, cu $R_{ck} = 16{,}60$ MPa, $R_{tk} = 1{,}43$ MPa (anexa II, tab. II.1):
  - $R_c^* = 12{,}50$ MPa, $m_{bc}=1{,}0$, $R_t^* = 0{,}95$ MPa, $m_{bt}=1{,}0$ (anexa II, tab. II.1):

$$R_c = m_{bc}\cdot R_c^* = 1{,}0\times 12{,}50 = 12{,}50 \text{ MPa}$$

$$R_t = m_{bt}\cdot R_t^* = 1{,}0\times 0{,}95 = 0{,}95 \text{ MPa}$$

- oțel STNB (armare cu plase sudate), cu $R_{ak} = 440$ MPa (anexa II, tab. II.2):
  - $R_a^* = 370$ MPa, $m_a=1{,}0$ (anexa II, tab. II.2):

$$R_a = m_a\cdot R_a^* = 1{,}0\times 370 = 370 \text{ MPa}$$

Mărimi geometrice ale secțiunii

- pentru plăci din categoria I-a din punctul de vedere al condițiilor de expunere:

$$a \geq \begin{cases} 10 \text{ mm (p.1.3.1, tab. 1.1)} \\ 1{,}2d \cong 1{,}2\times 6 = 7{,}2 \text{ mm (p.1.3.1)} \end{cases} \Rightarrow a = 15 \text{ mm}$$

- înălțimea utilă a plăcii: $h_0 = h_p - \left(a + \frac{d}{2}\right) \cong 80 - \left(15 + \frac{6}{2}\right) = 62$ mm

Armarea câmpurilor

- câmpul 0,1

$$m_{0,1} = \frac{M_{0,1}}{b\cdot h_0^2\cdot R_c} = \frac{4{,}80\times 10^6}{1.000\times 62^2\times 12{,}50} = 0{,}0999 < m_b = 0{,}4$$

$$\Rightarrow p_{0,1}^c = p_{0,1} = 0{,}356\% > 0{,}100\%$$

$$A_a^{0,1} = \frac{p_{0,1}}{100} b\cdot h_0 = \frac{0{,}356}{100}\times 1.000\times 62 = 221 \text{ mm}^2$$

$$A_{aef}^{0,1} = 246 \text{ mm}^2 \ (\varnothing 5{,}6/100)$$

- câmpul 1,2

$$m_{1,2} = \frac{M_{1,2}}{b\cdot h_0^2\cdot R_c} = \frac{2{,}98\times 10^6}{1.000\times 62^2\times 12{,}50} = 0{,}0620 < m_b = 0{,}4$$

$$\Rightarrow p_{1,2}^c = p_{1,2} = 0{,}216\% > 0{,}100\%$$

$$A_a^{1,2} = \frac{p_{1,2}}{100} b\cdot h_0 = \frac{0{,}216}{100}\times 1.000\times 62 = 134 \text{ mm}^2$$

$$A_{aef}^{1,2} = 159 \text{ mm}^2 \ (\varnothing 4{,}5/100)$$

- câmpul 2,3

$$m_{2,3} = \frac{M_{2,3}}{b\cdot h_0^2\cdot R_c} = \frac{2{,}98\times 10^6}{1.000\times 62^2\times 12{,}50} = 0{,}0620 < m_b = 0{,}4$$

$$\Rightarrow p_{2,3}^c = p_{2,3} = 0{,}216\% > 0{,}100\%$$

$$A_a^{2,3} = \frac{p_{2,3}}{100} b\cdot h_0 = \frac{0{,}216}{100}\times 1.000\times 62 = 134 \text{ mm}^2$$

$$A_{aef}^{2,3} = 159 \text{ mm}^2 \ (\varnothing 4{,}5/100)$$

- câmpul 3,4

$$m_{3,4} = \frac{M_{3,4}}{b\cdot h_0^2\cdot R_c} = \frac{2{,}98\times 10^6}{1.000\times 62^2\times 12{,}50} = 0{,}0620 < m_b = 0{,}4$$

$$\Rightarrow p_{3,4}^c = p_{3,4} = 0{,}216\% > 0{,}100\%$$

$$A_a^{3,4} = \frac{p_{3,4}}{100} b\cdot h_0 = \frac{0{,}216}{100}\times 1.000\times 62 = 134 \text{ mm}^2$$

$$A_{aef}^{3,4} = 159 \text{ mm}^2 \ (\varnothing 4{,}5/100)$$

- câmpul 4,5

$$m_{4,5} = \frac{M_{4,5}}{b\cdot h_0^2\cdot R_c} = \frac{2{,}98\times 10^6}{1.000\times 62^2\times 12{,}50} = 0{,}0620 < m_b = 0{,}4$$

$$\Rightarrow p_{4,5}^c = p_{4,5} = 0{,}216\% > 0{,}100\%$$

$$A_a^{4,5} = \frac{p_{4,5}}{100} b\cdot h_0 = \frac{0{,}216}{100}\times 1.000\times 62 = 134 \text{ mm}^2$$

$$A_{aef}^{4,5} = 159 \text{ mm}^2 \ (\varnothing 4{,}5/100)$$

- câmpul 5,6

$$m_{5,6} = \frac{M_{5,6}}{b\cdot h_0^2\cdot R_c} = \frac{4{,}80\times 10^6}{1.000\times 62^2\times 12{,}50} = 0{,}0999 < m_b = 0{,}4$$

$$\Rightarrow p_{5,6}^c = p_{5,6} = 0{,}356\% > 0{,}100\%$$

$$A_a^{5,6} = \frac{p_{5,6}}{100} b\cdot h_0 = \frac{0{,}356}{100}\times 1.000\times 62 = 221 \text{ mm}^2$$

$$A_{aef}^{5,6} = 246 \text{ mm}^2 \ (\varnothing 5{,}6/100)$$

• reazemul 1

$$m_1 = \frac{M_1}{b \cdot h_0^2 \cdot R_c} = \frac{3{,}77 \times 10^6}{1.000 \times 62^2 \times 12{,}50} = 0{,}0785 < m_b = 0{,}4$$

$$\Rightarrow p_1^c = p_1 = 0{,}276\% > 0{,}100\%$$

$$A_a^1 = \frac{p_1}{100} b \cdot h_0 = \frac{0{,}276}{100} \times 1.000 \times 62 = 171 \text{ mm}^2$$

$$A_{aef}^1 = 196 \text{ mm}^2 \ (\varnothing 5/100)$$

• reazemul 2

$$m_2 = \frac{M_2}{b \cdot h_0^2 \cdot R_c} = \frac{2{,}98 \times 10^6}{1.000 \times 62^2 \times 12{,}50} = 0{,}0620 < m_b = 0{,}4$$

$$\Rightarrow p_2^c = p_2 = 0{,}216\% > 0{,}100\%$$

$$A_a^2 = \frac{p_2}{100} b \cdot h_0 = \frac{0{,}216}{100} \times 1.000 \times 62 = 134 \text{ mm}^2$$

$$A_{aef}^2 = 159 \text{ mm}^2 \ (\varnothing 4{,}5/100)$$

• reazemul 3

$$m_3 = \frac{M_3}{b \cdot h_0^2 \cdot R_c} = \frac{2{,}98 \times 10^6}{1.000 \times 62^2 \times 12{,}50} = 0{,}0620 < m_b = 0{,}4$$

$$\Rightarrow p_3^c = p_3 = 0{,}216\% > 0{,}100\%$$

$$A_a^3 = \frac{p_3}{100} b \cdot h_0 = \frac{0{,}216}{100} \times 1.000 \times 62 = 134 \text{ mm}^2$$

$$A_{aef}^3 = 159 \text{ mm}^2 \ (\varnothing 4{,}5/100)$$

• reazemul 4

$$m_4 = \frac{M_4}{b \cdot h_0^2 \cdot R_c} = \frac{2{,}98 \times 10^6}{1.000 \times 62^2 \times 12{,}50} = 0{,}0620 < m_b = 0{,}4$$

$$\Rightarrow p_4^c = p_4 = 0{,}216\% > 0{,}100\%$$

$$A_a^4 = \frac{p_4}{100} b \cdot h_0 = \frac{0{,}216}{100} \times 1.000 \times 62 = 134 \text{ mm}^2$$

$$A_{aef}^4 = 159 \text{ mm}^2 \ (\varnothing 4{,}5/100)$$

• reazemul 5

$$m_5 = \frac{M_5}{b \cdot h_0^2 \cdot R_c} = \frac{3{,}77 \times 10^6}{1.000 \times 62^2 \times 12{,}50} = 0{,}0785 < m_b = 0{,}4$$

$$\Rightarrow p_5^c = p_5 = 0{,}276\% > 0{,}100\%$$

$$A_a^5 = \frac{p_5}{100} b \cdot h_0 = \frac{0{,}276}{100} \times 1.000 \times 62 = 171 \text{ mm}^2$$

$$A_{aef}^5 = 196 \text{ mm}^2 \ (\varnothing 5/100)$$

Verificarea la acțiunea forței tăietoare

• înlocuind forța tăietoare maximă în relația (1.18) se obține:

$$\frac{Q_{max}}{b \cdot h_0 \cdot R_t} = \frac{13{,}9 \times 10^3}{1.000 \times 62 \times 0{,}95} = 0{,}24 < 0{,}75$$

⇒ nu este necesară dimensionarea de armătură pentru acțiunea forței tăietoare.

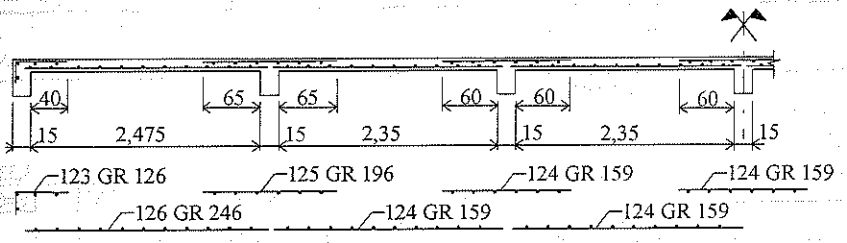


Fig. 2.20

Exemplul 2.5.4

Să se proiecteze placa monolită a planșeului de acoperiș al unei clădiri administrative alcătuit ca în figura 2.21. Intensitatea normată (I^n) a încărcării dată de zăpadă (în conformitate cu STAS 10101/21-92 [6]) este 2,40 kN/m^2. Acoperișul este de tip terasă necirculabilă, iar greutatea subansamblului termo-hidroizolație este 2,56 kN/m^2.

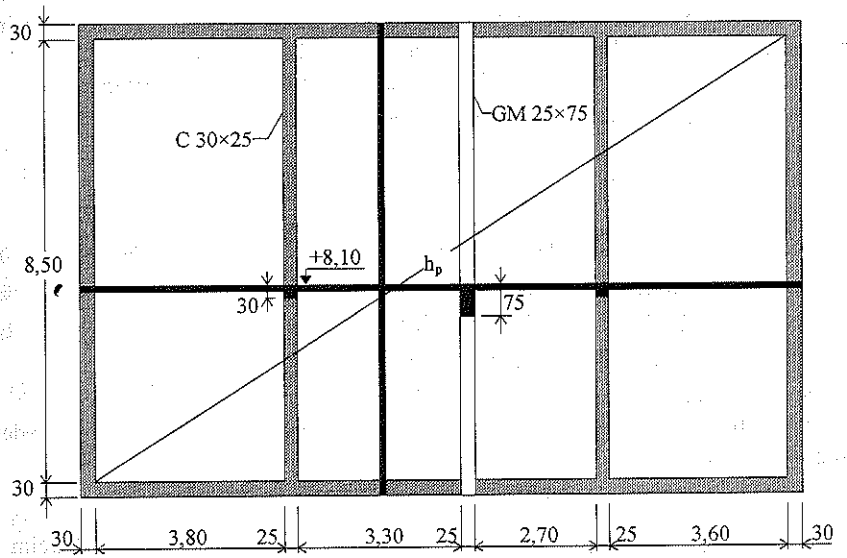


Fig. 2.21

Sistemul constructiv

• raportul minim al deschiderilor ochiurilor plăcii 8,50/3,80=2,24>2

⇒ placă continuă armată pe o direcție;

• grosimea minimă recomandată (p. 1.3.2):

$$h_{pmin} = \begin{cases} l_{max}/30 = 3.800/30 = 127 \text{ mm} \\ 60 \text{ mm} \end{cases};$$

• se adoptă h_p=130 mm.

Denumirea acțiunii	I^n (kN/m)	γ_I	A^n (kN/m)	$\frac{n^d}{\gamma_0}$	A^{Id} (kN/m)	$\frac{n}{\gamma_F}$	A (kN/m)
Acțiuni permanente - greutatea proprie a plăcii: 0,13m×25,0kN/m^3×1,0m - greutate termo-hidroizolație: 1,56kN/m^2×1,0m			3,25 2,56	1,0 1,0	3,25 2,56	1,1 1,3	3,58 3,33
TOTAL			g^n=5,81		g^{Id}=5,81		g=6,91
Acțiuni temporare - greutatea zăpezii: 2,40kN/m^2×1,0m	2,40	1,2	2,88	0,3	0,72	1,4	3,36
TOTAL			p^n=2,88		p^{Id}=0,72		p=3,36

Schema statică (fig. 2.22). Deschideri de calcul

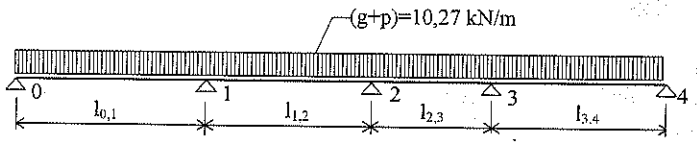


Fig. 2.22

• schema statică este de grindă continuă cu secțiunea constantă 1.000×130 (mm×mm);
• având în vedere că reazemele intermediare sunt legătură monolită iar cele marginale fără legătură monolită, deschiderile de calcul sunt (p. 1.2.1):

$$l_{0,1} = 3,80 + h_p/2 = 3,80 + 0,13/2 = 3,865 \text{ m} \qquad l_{1,2} = 3,30 \text{ m}$$

$$l_{2,3} = 2,70 \text{ m} \qquad l_{3,4} = 3,60 + h_p/2 = 3,60 + 0,13/2 = 3,665 \text{ m}$$

Calculul static

• deoarece:
– raportul minim al deschiderilor de calcul $l_{min}/l_{max} = l_{2,3}/l_{0,1} = 2,70/3,865 = 0,70$ rezultă că deschiderile de calcul diferă cu mai mult de 10% dar nu mai mult de 40%;
– $v = q^{Id}/q^n = (5,81+0,72)/(5,81+2,88) = 0,75$;
– $p/(g+p) = 3,36/(6,91+3,36) = 0,327 < 1/3$;
– sarcina totală (g+p) este uniform distribuită;
calculul static se va efectua în domeniul plastic în conformitate cu prevederile paragrafului 2.3.2;
• momentele de dimensionare pe reazeme se calculează cu relațiile (2.5) și (2.6):

$$M_1 = -\frac{1}{14}(g+p)\left[max\{l_{0,1}; l_{1,2}\}\right]^2 = -\frac{1}{14}\times(6,91+3,36)\times 3,865^2 = -10,96 \text{ kNm}$$

$$M_2 = -\frac{1}{16}(g+p)\left[max\{l_{1,2}; l_{2,3}\}\right]^2 = -\frac{1}{16}\times(6,91+3,36)\times 3,30^2 = -6,99 \text{ kNm}$$

$$M_3 = -\frac{1}{14}(g+p)\left[max\{l_{2,3}; l_{3,4}\}\right]^2 = -\frac{1}{14}\times(6,91+3,36)\times 3,665^2 = -9,85 \text{ kNm}$$

• calculate cu relațiile (2.10) și (2.11), momentele de dimensionare în câmpuri sunt:

$$M_{0,1} = \frac{(g+p)l_{0,1}^2}{8} - \frac{|M_1|}{2,5} = \frac{(6,91+3,36)\times 3,865^2}{8} - \frac{10,96}{2,5} =$$

$$= +14,79 \text{ kNm} > \frac{(g+p)l_{0,1}^2}{24} = \frac{(6,91+3,36)\times 3,865^2}{24} = +6,39 \text{ kNm}$$

$$M_{1,2} = \frac{(g+p)l_{1,2}^2}{8} - \frac{|M_1|+|M_2|}{2} = \frac{(6,91+3,36)\times 3,30^2}{8} - \frac{10,96+6,99}{2} =$$

$$= +5,01 \text{ kNm} > \frac{(g+p)l_{1,2}^2}{24} = \frac{(6,91+3,36)\times 3,30^2}{24} = +4,66 \text{ kNm}$$

$$M_{2,3} = \frac{(g+p)l_{2,3}^2}{8} - \frac{|M_2+M_3|}{2} = \frac{(6,91+3,36)\times 2,70^2}{8} - \frac{6,99+9,85}{2} =$$

$$= +0,94 \text{ kNm} < \frac{(g+p)l_{2,3}^2}{24} = \frac{(6,91+3,36)\times 2,70^2}{24} = +3,12 \text{ kNm}$$

$$\Rightarrow M_{2,3} = +3,12 \text{ kNm}$$

$$M_{3,4} = \frac{(g+p)l_{3,4}^2}{8} - \frac{|M_3|}{2,5} = \frac{(6,91+3,36)\times 3,665^2}{8} - \frac{9,85}{2,5} =$$

$$= +13,30 \text{ kNm} > \frac{(g+p)l_{0,1}^2}{24} = \frac{(6,91+3,36)\times 3,665^2}{24} = +5,75 \text{ kNm}$$

• diagrama momentelor încovoietoare de calcul este prezentată în figura 2.23.

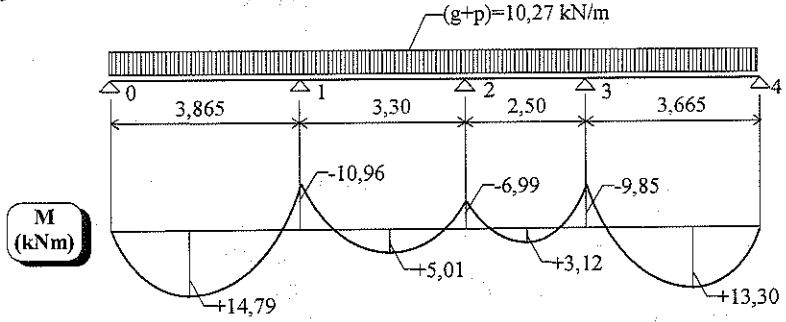


Fig. 2.23

• calculate cu relațiile (2.12) forțele tăietoare de calcul sunt:

$$Q_0^{dr} = 1,1\left[\frac{(g+p)l_{0,1}}{2} + \frac{-|M_1|}{l_{0,1}}\right] = 1,1\times\left[\frac{(6,91+3,36)\times 3,865}{2} - \frac{10,96}{3,865}\right] =$$

$$= +18,71 \text{ kN}$$

$$Q_1^{st} = -1,1\left[\frac{(g+p)l_{0,1}}{2} - \frac{-|M_1|}{l_{0,1}}\right] = -1,1\times\left[\frac{(6,91+3,36)\times 3,865}{2} + \frac{10,96}{3,865}\right] =$$

$$= -24,95 \text{ kN}$$

$$Q_1^{dr} = 1,1\left[\frac{(g+p)l_{1,2}}{2} + \frac{|M_1|-|M_2|}{l_{1,2}}\right] = 1,1\times\left[\frac{(6,91+3,36)\times 3,30}{2} + \frac{10,96-6,99}{3,30}\right] =$$

$$= +19,96 \text{ kN}$$

$$Q_2^{st} = -1,1\left[\frac{(g+p)l_{0,1}}{2} - \frac{|M_1|-|M_2|}{l_{1,2}}\right] = -1,1\times\left[\frac{(6,91+3,36)\times 3,30}{2} - \frac{10,96-6,99}{3,30}\right] =$$

$$= -17,31 \text{ kN}$$

$$= +12{,}86 \text{ kN}$$

$$Q_3^{st} = -1{,}1\left[\frac{(g+p)l_{2,3}}{2} - \frac{|M_2| - |M_3|}{l_{2,3}}\right] = -1{,}1\times\left[\frac{(6{,}91+3{,}36)\times 2{,}50}{2} - \frac{6{,}99-9{,}85}{2.50}\right] =$$

$$= -15{,}38 \text{ kN}$$

$$Q_3^{dr} = 1{,}1\left[\frac{(g+p)l_{3,4}}{2} + \frac{|M_3|}{l_{3,4}}\right] = 1{,}1\times\left[\frac{(6{,}91+3{,}36)\times 3{,}665}{2} + \frac{9{,}85}{3{,}665}\right] =$$

$$= +23{,}65 \text{ kN}$$

$$Q_4^{st} = -1{,}1\left[\frac{(g+p)l_{3,4}}{2} - \frac{|M_3|}{l_{3,4}}\right] = -1{,}1\times\left[\frac{(6{,}91+3{,}36)\times 3{,}665}{2} - \frac{9{,}85}{3{,}665}\right] =$$

$$= -17{,}74 \text{ kN}$$

- în valoare absolută, forța tăietoare maximă de calcul este:

$$Q_{max} = |Q_1^{st}| = 24{,}95 \text{ kN}$$

Dimensionarea

Materiale

- beton Bc 15, cu $R_{ck} = 12{,}50$ MPa, $R_{tk} = 1{,}19$ MPa (anexa II, tab. II.1):
  - $R_c^* = 9{,}50$ MPa, $m_{bc}=1{,}0$, $R_t^* = 1{,}19$ MPa, $m_{bt}=1{,}0$ (anexa II, tab. II.1):

$$R_c = m_{bc}\cdot R_c^* = 1{,}0\times 9{,}50 = 9{,}50 \text{ MPa}$$

$$R_t = m_{bt}\cdot R_t^* = 1{,}0\times 0{,}80 = 0{,}80 \text{ MPa}$$

- oțel PC 52, cu $R_{ak} = 355$ MPa (anexa II, tab. II.2):
  - $R_a^* = 300$ MPa, $m_a=1{,}0$ (anexa II, tab. II.2):

$$R_a = m_a\cdot R_a^* = 1{,}0\times 300 = 300 \text{ MPa}$$

Mărimi geometrice ale secțiunii

- pentru plăci din categoria II-a din punctul de vedere al condițiilor de expunere:

$$a \geq \begin{cases} 15 \text{ mm (p.1.3.1, tab. 1.1)} \\ 1{,}2d \cong 1{,}2\times 8 = 96 \text{ mm (p.1.3.1)} \end{cases} \Rightarrow a = 15 \text{ mm}$$

- înălțimea utilă a plăcii: $h_0 = h_p - \left(a + \frac{d}{2}\right) \cong 130 - \left(15 + \frac{8}{2}\right) = 111$ mm

Armarea câmpurilor

- câmpul 0,1

$$m_{0,1} = \frac{M_{0,1}}{b\cdot h_0^2\cdot R_c} = \frac{14{,}79\times 10^6}{1.000\times 111^2\times 9{,}50} = 0{,}1264 < m_b = 0{,}4$$

$$\Rightarrow p_{0,1}^c = p_{0,1} = 0{,}429\% > 0{,}100\%$$

$$A_a^{0,1} = \frac{p_{0,1}}{100} b\cdot h_0 = \frac{0{,}429}{100}\times 1.000\times 111 = 476 \text{ mm}^2$$

$$A_{aef}^{0,1} = 503 \text{ mm}^2 \ (10\ \varnothing 8/\text{m})$$

$$m_{1,2} = \frac{M_{1,2}}{b\cdot h_0^2\cdot R_c} = \frac{3{,}01\times 10^6}{1.000\times 111^2\times 9{,}50} = 0{,}0428 < m_b = 0{,}4$$

$$\Rightarrow p_{1,2}^c = p_{1,2} = 0{,}139\% > 0{,}100\%$$

$$A_a^{1,2} = \frac{p_{1,2}}{100} b\cdot h_0 = \frac{0{,}139}{100}\times 1.000\times 111 = 154 \text{ mm}^2$$

$$A_{aef}^{1,2} = 170 \text{ mm}^2 \ (6\ \varnothing 6/\text{m})$$

- câmpul 2,3

$$m_{2,3} = \frac{M_{2,3}}{b\cdot h_0^2\cdot R_c} = \frac{3{,}12\times 10^6}{1.000\times 111^2\times 9{,}50} = 0{,}0267 < m_b = 0{,}4$$

$$\Rightarrow 0{,}085\% < p_{2,3}^c = 0{,}086\% < 0{,}100\%$$

$$\Rightarrow p_{2,3} = p_{min} = 0{,}100\%$$

$$A_a^{2,3} = \frac{p_{2,3}}{100} b\cdot h_0 = \frac{0{,}100}{100}\times 1.000\times 111 = 111 \text{ mm}^2$$

$$A_{aef}^{2,3} = 170 \text{ mm}^2 \ (6\ \varnothing 6/\text{m})$$

- câmpul 3,4

$$m_{3,4} = \frac{M_{3,4}}{b\cdot h_0^2\cdot R_c} = \frac{13{,}30\times 10^6}{1.000\times 111^2\times 9{,}50} = 0{,}1136 < m_b = 0{,}4$$

$$\Rightarrow p_{3,4}^c = p_{3,4} = 0{,}311\% > 0{,}100\%$$

$$A_a^{3,4} = \frac{p_{3,4}}{100} b\cdot h_0 = \frac{0{,}311}{100}\times 1.000\times 111 = 345 \text{ mm}^2$$

$$A_{aef}^{3,4} = 352 \text{ mm}^2 \ (7\ \varnothing 8/\text{m})$$

Armarea reazemelor

- reazemul 1

$$m_1 = \frac{M_1}{b\cdot h_0^2\cdot R_c} = \frac{10.96\times 10^6}{1.000\times 111^2\times 9{,}50} = 0{,}0936 < m_b = 0{,}4$$

$$\Rightarrow p_1^c = p_1 = 0{,}253\% > 0{,}100\%$$

$$A_a^1 = \frac{p_1}{100} b\cdot h_0 = \frac{0{,}253}{100}\times 1.000\times 111 = 281 \text{ mm}^2$$

$$A_{aef}^1 = 286 \text{ mm}^2 \ (4\ \varnothing 8/\text{m} + 3\ \varnothing 6/\text{m})$$

- reazemul 2

$$m_2 = \frac{M_2}{b\cdot h_0^2\cdot R_c} = \frac{6{,}99\times 10^6}{1.000\times 111^2\times 9{,}50} = 0{,}0597 < m_b = 0{,}4$$

$$\Rightarrow p_2^c = p_2 = 0{,}158\% > 0{,}100\%$$

$$A_a^2 = \frac{p_2}{100} b\cdot h_0 = \frac{0{,}158}{100}\times 1.000\times 111 = 176 \text{ mm}^2$$

$$A_{aef}^2 = 160 \text{ mm}^2 \ (6\ \varnothing 6/\text{m})$$

$$m_3 = \frac{}{b \cdot h_0^2 \cdot R_c} = \frac{}{1.000 \times 111^2 \times 9{,}50} = 0{,}0842 < m_b = 0{,}4$$

$$\Rightarrow p_3^c = p_3 = 0{,}226\% > 0{,}100\%$$

$$A_a^3 = \frac{p_3}{100} b \cdot h_0 = \frac{0{,}226}{100} \times 1.000 \times 111 = 251 \text{ mm}^2$$

$A_{aef}^3 = 286 \text{ mm}^2$ (4 Ø8 / m + 3 Ø6 / m)

Verificarea la acțiunea forței tăietoare

• înlocuind forța tăietoare maximă în relația (1.18) se obține:

$$\overline{Q} = \frac{Q_{max}}{b \cdot h_0 \cdot R_t} = \frac{24{,}95 \times 10^3}{1.000 \times 111 \times 0{,}80} = 0{,}28 < 0{,}75$$

⇒ nu este necesară dimensionarea de armătură pentru acțiunea forței tăietoare.

Schița de armare (fig. 2.24)

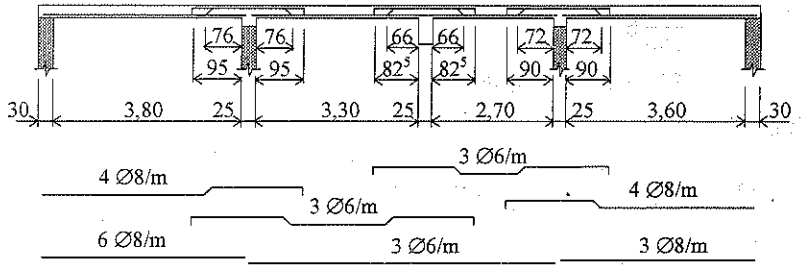


Fig. 2.24

Exemplul 2.5.5

Să se proiecteze placa monolită a planșeului intermediar al unui atelier de proiectare, alcătuit ca în figura 2.25. Sarcina utilă are valoarea de exploatare 4,00 kN/m^2, iar pardoseala este confecționată din parchet.

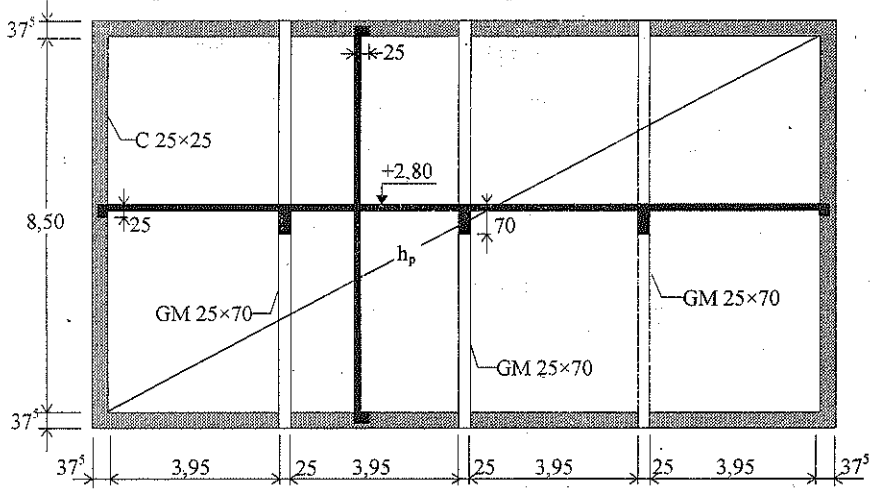


Fig. 2.25

• raportul minim al deschiderilor/ochiurilor plăci $8{,}50/3{,}95 = 2{,}15 > 2$

⇒ placă continuă armată pe o direcție;

• grosimea minimă recomandată (p. 1.3.2):

$$h_{pmin} = \begin{cases} l_{max}/30 = 3.950/30 = 132 \text{ mm} \\ 60 \text{ mm} \end{cases};$$

• se adoptă h_p=140 mm.

Acțiuni

Denumirea acțiunii	A^n (kN/m)	n^d	A^{ld} (kN/m)	n	A (kN/m)
Acțiuni permanente					
- greutatea proprie a plăcii: 0,14m×25,0kN/m^3×1,0m	3,50	1,0	3,50	1,1	3,85
- pardoseală parchet: 0,90kN/m^2×1,0m	0,90	1,0	0,90	1,3	1,17
TOTAL	g^n=4,40		g^{ld}=4,40		g=5,02
Acțiuni temporare					
- încărcarea utilă: 4,00kN/m^2×1,0m	4,00	0,4	1,60	1,3	5,20
TOTAL	p^n=4,00		p^{ld}=1,60		p=5,20

Schema statică (fig. 2.26). Deschideri de calcul

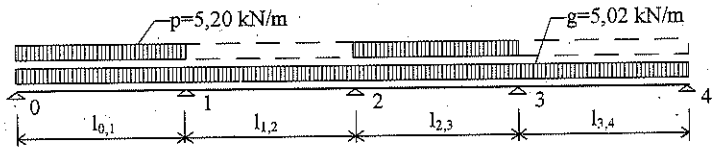


Fig. 2.26

• schema statică este de grindă continuă cu secțiunea constantă 1.000×140 (mm×mm);

• având în vedere monolitismul legăturilor deschiderile de calcul sunt (p. 1.2.1):

$l_{0,1}$=3,95 m $l_{1,2}$=3,95 m $l_{2,3}$=3,95 m $l_{3,4}$=3,95 m

Calculul static

• deoarece:

– deschiderile de calcul sunt egale, deci nu diferă cu mai mult de 10%;

– $v = q^{ld}/q^n = (4{,}40 + 1{,}60)/(4{,}40 + 4{,}00) = 0{,}71 < 0{,}75$;

– încărcarea utilă p prezintă scheme de încărcare;

calculul static se va efectua simplificat în domeniul plastic în conformitate cu prevederile paragrafului 2.3.3;

• deoarece sarcina tempoarară are o valoare relativ mare (p/g = 5,20/5,02 = 1,04) la dimensionare se vor utiliza diagramele de momente încovoietoare înfășurătoare calculate în conformitate cu figura 2.7, primele zece secțiuni fiind simetrice în raport cu reazemul central 2 (datorită egalității deschiderilor de calcul);

• momentele încovoietoare maxime se calculează cu prima din relațiile (2.13) pentru valorile coeficientului de calcul β_1 (tabelul 2.1):

– în prima și ultima deschidere:

$$M_{0,1}^{1max} = M_{3,4}^{1max} = +0{,}0650(g+p)l_{0,1}^2 = +0{,}0650 \times (5{,}02 + 5{,}20) \times 3{,}95^2 = +10{,}36 \text{ kNm}$$

$$M_{0,1}^{2max} = M_{3,4}^{2max} = +0{,}0910(g+p)l_{0,1}^2 = +0{,}0910 \times (5{,}02 + 5{,}20) \times 3{,}95^2 = +14{,}51 \text{ kNm}$$

$$M_{0,1}^{3max} = M_{3,4}^{3max} = +0{,}0760(g+p)l_{0,1}^2 = +0{,}0760 \times (5{,}02 + 5{,}20) \times 3{,}95^2 = +12{,}12 \text{ kNm}$$

$M_{0,1}^{5max} = M_{3,4}^{5max} = -0{,}0625(g+p)l_{0,1}^2 = -0{,}0625\times(5{,}02+5{,}20)\times3{,}95^2 = -9{,}97$ kNm

– în cele două deschideri intermediare:

$M_{1,2}^{5max} = M_{2,3}^{5max} = -0{,}0625(g+p)l_{1,2}^2 = -0{,}0625\times(5{,}02+5{,}20)\times3{,}95^2 = -9{,}97$ kNm

$M_{1,2}^{6max} = M_{2,3}^{6max} = +0{,}0180(g+p)l_{1,2}^2 = +0{,}0180\times(5{,}02+5{,}20)\times3{,}95^2 = +2{,}87$ kNm

$M_{1,2}^{7max} = M_{2,3}^{7max} = +0{,}0580(g+p)l_{1,2}^2 = +0{,}0580\times(5{,}02+5{,}20)\times3{,}95^2 = +9{,}25$ kNm

$M_{1,2}^{8max} = M_{2,3}^{8max} = +0{,}0580(g+p)l_{1,2}^2 = +0{,}0580\times(5{,}02+5{,}20)\times3{,}95^2 = +9{,}25$ kNm

$M_{1,2}^{9max} = M_{2,3}^{9max} = +0{,}0018(g+p)l_{1,2}^2 = +0{,}0180\times(5{,}02+5{,}20)\times3{,}95^2 = +2{,}87$ kNm

$M_{1,2}^{10max} = M_{2,3}^{10max} = -0{,}0625(g+p)l_{1,2}^2 = -0{,}0625\times(5{,}02+5{,}20)\times3{,}95^2 = -9{,}97$ kNm

• momentele încovoietoare minime se calculează pentru valori ale coeficientului β_2 (tabelul 2.2) obținute cu raportul $p/g = 5{,}20/5{,}02 = 1{,}04 \cong 1{,}00$ cu cea de a doua din relațiile (2.13):

– în prima și ultima deschidere:

$M_{0,1}^{3min} = M_{3,4}^{3min} = +0{,}0320(g+p)l_{0,1}^2 = +0{,}0320\times(5{,}02+5{,}20)\times3{,}95^2 = +5{,}10$ kNm

$M_{0,1}^{4min} = M_{3,4}^{4min} = -0{,}0070(g+p)l_{0,1}^2 = -0{,}0070\times(5{,}02+5{,}20)\times3{,}95^2 = -1{,}12$ kNm

$M_{0,1}^{5min} = M_{3,4}^{5min} = -0{,}0715(g+p)l_{0,1}^2 = -0{,}0715\times(5{,}02+5{,}20)\times3{,}95^2 = -11{,}40$ kNm

– în cele două deschideri intermediare:

$M_{1,2}^{5min} = M_{2,3}^{5min} = -0{,}0715(g+p)l_{1,2}^2 = -0{,}0715\times(5{,}02+5{,}20)\times3{,}95^2 = -10{,}14$ kNm

$M_{1,2}^{6min} = M_{2,3}^{6min} = -0{,}0200(g+p)l_{1,2}^2 = -0{,}0200\times(5{,}02+5{,}20)\times3{,}95^2 = -3{,}19$ kNm

$M_{1,2}^{7min} = M_{2,3}^{7min} = +0{,}0070(g+p)l_{1,2}^2 = +0{,}0070\times(5{,}02+5{,}20)\times3{,}95^2 = +1{,}12$ kNm

$M_{1,2}^{8min} = M_{2,3}^{8min} = +0{,}0080(g+p)l_{1,2}^2 = +0{,}0080\times(5{,}02+5{,}20)\times3{,}95^2 = +1{,}28$ kNm

$M_{1,2}^{9min} = M_{2,3}^{9min} = -0{,}0140(g+p)l_{1,2}^2 = -0{,}0140\times(5{,}02+5{,}20)\times3{,}95^2 = -2{,}23$ kNm

$M_{1,2}^{10min} = M_{2,3}^{10min} = -0{,}0625(g+p)l_{1,2}^2 = -0{,}0625\times(5{,}02+5{,}20)\times3{,}95^2 = -9{,}97$ kNm

• diagramele înfășurătoare ale momentelor încovoietoare de calcul sunt prezentate în figura 2.27 (secțiunile de momente minime nule se calculează considerând o variație liniară a momentelor între secțiunile de calcul).

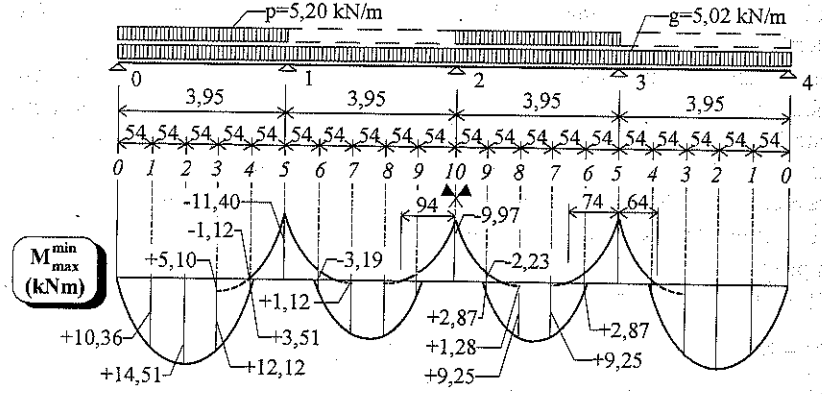


Fig. 2.27

$Q_0 = -Q_4 = +0{,}45(g+p)l_{0,1} = +0{,}45\times(5{,}02+5{,}20)\times3{,}95 = +19{,}97$ kN

$Q_1^{st} = -Q_3^{dr} = -0{,}65(g+p)l_{0,1} = -0{,}65\times(5{,}02+5{,}20)\times3{,}95 = -26{,}24$ kN

$Q_1^{dr} = -Q_3^{st} = +0{,}55(g+p)l_{1,2} = +0{,}55\times(5{,}02+5{,}20)\times3{,}95 = +22{,}20$ kN

$Q_2^{st} = -Q_2^{dr} = -0{,}55(g+p)l_{1,2} = -0{,}45\times(5{,}02+5{,}20)\times3{,}95 = -22{,}20$ kN

• în valoare absolută, forța tăietoare maximă de calcul este:

$$Q_{max} = |Q_1^{st}| = |Q_3^{dr}| = 26{,}24 \text{ kN}$$

Dimensionarea

Materiale

• beton Bc 15, cu $R_{ck} = 12{,}50$ MPa, $R_{tk} = 1{,}19$ MPa (anexa II, tab. II.1):

– $R_c^* = 9{,}50$ MPa, $m_{bc}=1{,}0$, $R_t^* = 1{,}19$ MPa, $m_{bt}=1{,}0$ (anexa II, tab. II.1):

$$R_c = m_{bc}\cdot R_c^* = 1{,}0\times9{,}50 = 9{,}50 \text{ MPa}$$

$$R_t = m_{bt}\cdot R_t^* = 1{,}0\times0{,}80 = 0{,}80 \text{ MPa}$$

• oțel PC 52, cu $R_{ak} = 355$ MPa (anexa II, tab. II.2):

– $R_a^* = 300$ MPa, $m_a=1{,}0$ (anexa II, tab. II.2):

$$R_a = m_a\cdot R_a^* = 1{,}0\times300 = 300 \text{ MPa}$$

Mărimi geometrice ale secțiunii

• pentru plăci din categoria I-a din punctul de vedere al condițiilor de expunere:

$$a \geq \begin{cases} 10 \text{ mm (p.1.3.1, tab. 1.1)} \\ 1{,}2d \cong 1{,}2\times8 = 9{,}6 \text{ mm (p.1.3.1)} \end{cases} \Rightarrow a = 10 \text{ mm}$$

• înălțimea utilă a plăcii: $h_0 = h_p - \left(a+\frac{d}{2}\right) \cong 140 - \left(10+\frac{8}{2}\right) = 126$ mm

Armarea câmpurilor

• câmpul 0,1

$$m_{0,1} = \frac{M_{0,1}^{max}}{b\cdot h_0^2\cdot R_c} = \frac{14{,}51\times10^6}{1.000\times126^2\times9{,}50} = 0{,}0962 < m_b = 0{,}4$$

$$\Rightarrow p_{0,1}^c = p_{0,1} = 0{,}321\% > 0{,}100\%$$

$$A_a^{0,1} = \frac{p_{0,1}}{100}b\cdot h_0 = \frac{0{,}321}{100}\times1.000\times126 = 404 \text{ mm}^2$$

$$A_{aef}^{0,1} = 402 \text{ mm}^2 \ (8\ \varnothing8/\text{m})$$

• câmpul 1,2

$$m_{1,2} = \frac{M_{1,2}^{max}}{b\cdot h_0^2\cdot R_c} = \frac{9{,}25\times10^6}{1.000\times126^2\times9{,}50} = 0{,}0613 < m_b = 0{,}4$$

$$\Rightarrow p_{1,2}^c = p_{1,2} = 0{,}201\% > 0{,}100\%$$

$$A_a^{1,2} = \frac{p_{1,2}}{100}b\cdot h_0 = \frac{0{,}201}{100}\times1.000\times126 = 253 \text{ mm}^2$$

$$A_{aef}^{1,2} = 257 \text{ mm}^2 \ (2\ \varnothing6/\text{m} + 4\ \varnothing8/\text{m})$$

$$m_{2,3} = \frac{M_{2,3}}{b \cdot h_0^2 \cdot R_c} = \frac{9,25 \times 10^6}{1.000 \times 126^2 \times 9,50} = 0,0613 < m_b = 0,4$$

$$\Rightarrow p^c_{2,3} = p_{2,3} = 0,201\% > 0,100\%$$

$$A_a^{2,3} = \frac{p_{2,3}}{100} b \cdot h_0 = \frac{0,201}{100} \times 1.000 \times 126 = 253 \text{ mm}^2$$

$$A_{aef}^{2,3} = 257 \text{ mm}^2 \ (2\ \varnothing 6/\text{m} + 4\ \varnothing 8/\text{m})$$

• câmpul 3,4

$$m_{3,4} = \frac{M_{3,4}^{max}}{b \cdot h_0^2 \cdot R_c} = \frac{14,51 \times 10^6}{1.000 \times 126^2 \times 9,50} = 0,0962 < m_b = 0,4$$

$$\Rightarrow p^c_{3,4} = p_{3,4} = 0,321\% > 0,100\%$$

$$A_a^{3,4} = \frac{p_{3,4}}{100} b \cdot h_0 = \frac{0,321}{100} \times 1.000 \times 126 = 404 \text{ mm}^2$$

$$A_{aef}^{3,4} = 402 \text{ mm}^2 \ (8\ \varnothing 8/\text{m})$$

Armarea reazemelor

• reazemul 1

$$m_1 = \frac{M_1^{min}}{b \cdot h_0^2 \cdot R_c} = \frac{11,40 \times 10^6}{1.000 \times 126^2 \times 9,50} = 0,0756 < m_b = 0,4$$

$$\Rightarrow p^c_1 = p_1 = 0,249\% > 0,100\%$$

$$A_a^1 = \frac{p_1}{100} b \cdot h_0 = \frac{0,249}{100} \times 1.000 \times 126 = 314 \text{ mm}^2$$

$$A_{aef}^1 = 314 \text{ mm}^2 \ (4\ \varnothing 6/\text{m} + 4\ \varnothing 8/\text{m})$$

• reazemul 2

$$m_2 = \frac{M_2^{min}}{b \cdot h_0^2 \cdot R_c} = \frac{9,97 \times 10^6}{1.000 \times 126^2 \times 9,50} = 0,0661 < m_b = 0,4$$

$$\Rightarrow p^c_2 = p_2 = 0,217\% > 0,100\%$$

$$A_a^2 = \frac{p_2}{100} b \cdot h_0 = \frac{0,217}{100} \times 1.000 \times 126 = 273 \text{ mm}^2$$

$$A_{aef}^2 = 264 \text{ mm}^2 \ (4\ \varnothing 6/\text{m} + 3\ \varnothing 8/\text{m})$$

• reazemul 3

$$m_3 = \frac{M_3^{min}}{b \cdot h_0^2 \cdot R_c} = \frac{11,40 \times 10^6}{1.000 \times 126^2 \times 9,50} = 0,0756 < m_b = 0,4$$

$$\Rightarrow p^c_3 = p_3 = 0,249\% > 0,100\%$$

$$A_a^3 = \frac{p_1}{100} b \cdot h_0 = \frac{0,249}{100} \times 1.000 \times 126 = 314 \text{ mm}^2$$

$$A_{aef}^3 = 314 \text{ mm}^2 \ (4\ \varnothing 6/\text{m} + 4\ \varnothing 8/\text{m})$$

Verificarea la acțiunea forței tăietoare

• înlocuind forța tăietoare maximă în relația (1.18) se obține:

$$b \cdot h_0 \cdot R_t \quad 1.000 \times 126 \times 0,80$$

⇒ nu este necesară dimensionarea de armătură pentru acțiunea forței tăietoare.

Schița de armare (fig. 2.28)

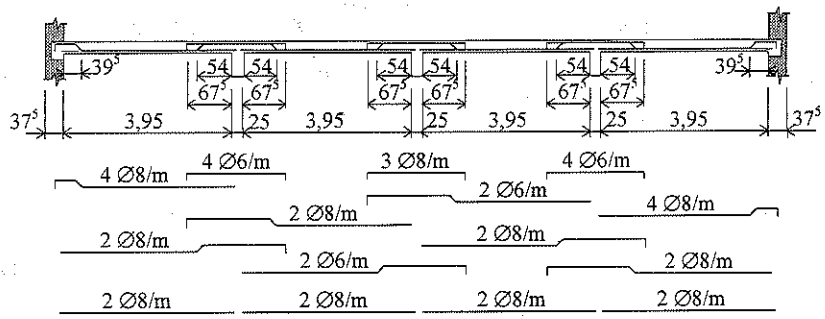


Fig. 2.28

Exemplul 2.5.6

Să se dimensioneze printr-un calcul în domeniul plastic prin modificarea rezultatelor calculului static în domeniul elastic placa monolită dimensionată în exemplul 2.5.2.

Calculul coeficientului de adaptare plastică (subcap. 2.4)

• raportul între încărcarea totală de lungă durată și încărcarea totală de calcul este:

$$v = \frac{q^{ld}}{q} = \frac{4,25 + 4,00}{4,83 + 6,50} = \frac{8,25}{11,33} = 0,728$$

• valoarea coeficientului de adaptare plastică este dată de relația (2.15):

$$k_p = 0,8(v + 0,25) = 0,8 \times (0,728 + 0,25) = 0,783 < 0,8 \Rightarrow k_p = 0,8$$

Calculul static

• momentele încovoietoare plastice pe reazeme se calculează cu relația (2.14):

$$M_1 = k_p \cdot M_1^{max} = 0,8 \times (-19,12) = -15,13 \text{ kNm}$$

$$M_2 = k_p \cdot M_2^{max} = 0,8 \times (-15,17) = -12,14 \text{ kNm}$$

$$M_3 = k_p \cdot M_3^{max} = 0,8 \times (-18,63) = -14,90 \text{ kNm}$$

• momentele maxime în câmpuri asociate momentelor plastice de pe reazeme se calculează astfel:

– derivând relația (2.16) pentru cazul încărcării uniform distribuite q (kN/m) în raport cu necunoscuta x (vezi fig. 2.8), se obține secțiunea cu momentul maxim în câmpul unei deschideri:

$$\frac{\partial M_{i-1,i}}{\partial x} = \frac{q \cdot l_{i-1,i}}{2} - qx + \frac{|M_{i-1}|}{l_{i-1,i}} - \frac{|M_i|}{l_{i-1,i}} = 0 \Rightarrow x = \frac{1}{q} \frac{|M_{i-1}| - |M_i|}{l_{i-1,i}} + \frac{l_{i-1,i}}{2}$$

deschiderea 0,1 $\quad x_{0,1} = \frac{1}{11,33} \times \frac{0 - 15,13}{3,80} + \frac{3,80}{2} = 1,55$ m

deschiderea 2,3 $x_{2,3} = \frac{1}{11,33} \times \frac{12,14 - 14,90}{4,10} + \frac{4,10}{2} = 1,99$ m

deschiderea 3,4 $x_{3,4} = \frac{1}{11,33} \times \frac{14,90 - 0}{3,60} + \frac{3,60}{2} = 2,17$ m

– aplicând relația (2.16) se obțin valorile momentelor încovoietoare în câmpuri:

$$M_{0,1} = \frac{q \cdot l_{0,1} \cdot x_{0,1}}{2} - \frac{q \cdot x_{0,1}^2}{2} - \frac{x_{0,1}}{l_{0,1}}|M_1| =$$

$$= \frac{11,33 \times 3,80 \times 1,55}{2} - \frac{11,33 \times 1,55^2}{2} - \frac{1,55}{3,80} \times 15,13 = +13,59 \text{ kNm}$$

$$M_{1,2} = \frac{q \cdot l_{1,2} \cdot x_{1,2}}{2} - \frac{q \cdot x_{1,2}^2}{2} - \left(1 - \frac{x_{1,2}}{l_{1,2}}\right)|M_1| - \frac{x_{1,2}}{l_{1,2}}|M_2| =$$

$$= \frac{11,33 \times 4,00 \times 2,07}{2} - \frac{11,33 \times 2,07^2}{2} - \left(1 - \frac{2,07}{4,00}\right) \times 15,13 - \frac{2,07}{4,00} \times 12,14 = +9,05 \text{ kNm}$$

$$M_{2,3} = \frac{q \cdot l_{2,3} \cdot x_{2,3}}{2} - \frac{q \cdot x_{2,3}^2}{2} - \left(1 - \frac{x_{2,3}}{l_{2,3}}\right)|M_2| - \frac{x_{2,3}}{l_{2,3}}|M_3| =$$

$$= \frac{11,33 \times 4,10 \times 1,99}{2} - \frac{11,33 \times 1,99^2}{2} - \left(1 - \frac{1,99}{4,10}\right) \times 12,14 - \frac{1,99}{4,10} \times 14,90 = +10,31 \text{ kNm}$$

$$M_{3,4} = \frac{q \cdot l_{3,4} \cdot x_{3,4}}{2} - \frac{q \cdot x_{3,4}^2}{2} - \left(1 - \frac{x_{3,4}}{l_{3,4}}\right)|M_3| =$$

$$= \frac{11,33 \times 3,60 \times 2,17}{2} - \frac{11,33 \times 2,17^2}{2} - \left(1 - \frac{2,17}{3,60}\right) \times 14,90 = +11,66 \text{ kNm}$$

• diagrama momentelor încovoietoare de calcul este prezentată în figura 2.29.

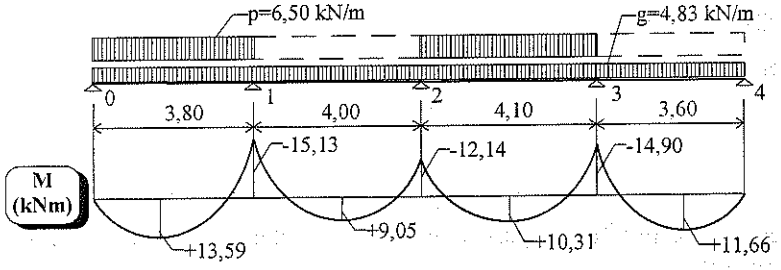


Fig. 2.29

Dimensionarea

Materiale

• beton Bc 15, cu $R_{ck} = 12,50$ MPa, $R_{tk} = 1,19$ MPa (anexa II, tab. II.1):

– $R_c^* = 9,50$ MPa, $m_{bc}=1,0$, $R_t^* = 1,19$ MPa, $m_{bt}=1,0$ (anexa II, tab. II.1):

$$R_c = m_{bc} \cdot R_c^* = 1,0 \times 9,50 = 9,50 \text{ MPa}$$

$$R_t = m_{bt} \cdot R_t^* = 1,0 \times 0,80 = 0,80 \text{ MPa}$$

– $R_a^* = 300$ MPa, $m_a=1,0$ (anexa II, tab. II.2):

$$R_a = m_a \cdot R_a^* = 1,0 \times 300 = 300 \text{ MPa}$$

Mărimi geometrice ale secțiunii

• pentru plăci din categoria I-a din punctul de vedere al condițiilor de expunere:

$$a \geq \begin{cases} 10 \text{ mm (p.1.3.1, tab. 1.1)} \\ 1,2d \equiv 1,2 \times 10 = 12 \text{ mm (p.1.3.1)} \end{cases} \Rightarrow a = 15 \text{ mm}$$

• înălțimea utilă a plăcii: $h_0 = h_p - \left(a + \frac{d}{2}\right) \equiv 140 - \left(15 + \frac{10}{2}\right) = 120$ mm

Armarea câmpurilor

• câmpul 0,1

$$m_{0,1} = \frac{M_{0,1}}{b \cdot h_0^2 \cdot R_c} = \frac{13,59 \times 10^6}{1.000 \times 120^2 \times 9,50} = 0,0993 < m_b = 0,4$$

$$\Rightarrow p_{0,1}^c = p_{0,1} = 0,332\% > 0,100\%$$

$$A_a^{0,1} = \frac{p_{0,1}}{100} b \cdot h_0 = \frac{0,332}{100} \times 1.000 \times 120 = 398 \text{ mm}^2$$

$A_{aef}^{0,1} = 387$ mm^2 (3 Ø8/m + 3 Ø10/m)

• câmpul 1,2

$$m_{1,2} = \frac{M_{1,2}}{b \cdot h_0^2 \cdot R_c} = \frac{9,05 \times 10^6}{1.000 \times 120^2 \times 9,50} = 0,0662 < m_b = 0,4$$

$$\Rightarrow p_{1,2}^c = p_{1,2} = 0,217\% > 0,100\%$$

$$A_a^{1,2} = \frac{p_{1,2}}{100} b \cdot h_0 = \frac{0,217}{100} \times 1.000 \times 120 = 260 \text{ mm}^2$$

$A_{aef}^{1,2} = 302$ mm^2 (6 Ø8/m)

• câmpul 2,3

$$m_{2,3} = \frac{M_{2,3}}{b \cdot h_0^2 \cdot R_c} = \frac{10,13 \times 10^6}{1.000 \times 120^2 \times 9,50} = 0,0754 < m_b = 0,4$$

$$\Rightarrow p_{2,3}^c = p_{2,3} = 0,248\% > 0,100\%$$

$$A_a^{2,3} = \frac{p_{2,3}}{100} b \cdot h_0 = \frac{0,248}{100} \times 1.000 \times 120 = 298 \text{ mm}^2$$

$A_{aef}^{2,3} = 302$ mm^2 (6 Ø8/m)

• câmpul 3,4

$$m_{3,4} = \frac{M_{3,4}}{b \cdot h_0^2 \cdot R_c} = \frac{11,66 \times 10^6}{1.000 \times 120^2 \times 9,50} = 0,0852 < m_b = 0,4$$

$$\Rightarrow p_{3,4}^c = p_{3,4} = 0,283\% > 0,100\%$$

$$A_a^{3,4} = \frac{p_{3,4}}{100} b \cdot h_0 = \frac{0,283}{100} \times 1.000 \times 120 = 339 \text{ mm}^2$$

$A_{aef}^{3,4} = 387$ mm^2 (3 Ø8/m + 3 Ø10/m)

• reazemul 1

$$m_1 = \frac{M_1}{b \cdot h_0^2 \cdot R_c} = \frac{15{,}13 \times 10^6}{1.000 \times 120^2 \times 9{,}50} = 0{,}1106 < m_b = 0{,}4$$

$$\Rightarrow p_1^c = p_1 = 0{,}372\% > 0{,}100\%$$

$$A_a^1 = \frac{p_1}{100} b \cdot h_0 = \frac{0{,}372}{100} \times 1.000 \times 120 = 447 \text{ mm}^2$$

$$A_{aef}^1 = 453 \text{ mm}^2 \ (9\ \varnothing 8 / \text{m})$$

• reazemul 2

$$m_2 = \frac{M_2}{b \cdot h_0^2 \cdot R_c} = \frac{12{,}14 \times 10^6}{1.000 \times 120^2 \times 9{,}50} = 0{,}0887 < m_b = 0{,}4$$

$$\Rightarrow p_2^c = p_2 = 0{,}295\% > 0{,}100\%$$

$$A_a^2 = \frac{p_2}{100} b \cdot h_0 = \frac{0{,}295}{100} \times 1.000 \times 120 = 354 \text{ mm}^2$$

$$A_{aef}^2 = 387 \text{ mm}^2 \ (3\ \varnothing 8 / \text{m} + 3\ \varnothing 10 / \text{m})$$

• reazemul 3

$$m_3 = \frac{M_3}{b \cdot h_0^2 \cdot R_c} = \frac{14{,}90 \times 10^6}{1.000 \times 120^2 \times 9{,}50} = 0{,}1089 < m_b = 0{,}4$$

$$\Rightarrow p_3^c = p_3 = 0{,}366\% > 0{,}100\%$$

$$A_a^3 = \frac{p_3}{100} b \cdot h_0 = \frac{0{,}366}{100} \times 1.000 \times 120 = 439 \text{ mm}^2$$

$$A_{aef}^3 = 453 \text{ mm}^2 \ (9\ \varnothing 8 / \text{m})$$

Schița de armare (fig. 2.30)

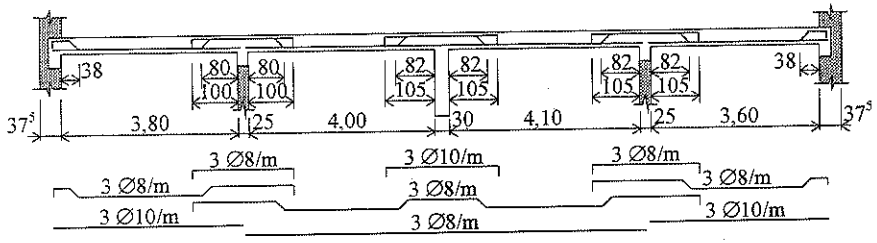


Fig. 2.30

3. CALCULUL PLĂCILOR MONOLITE INDEPENDENTE ARMATE PE DOUĂ DIRECȚII

3.1 Calculul static în domeniul elastic

3.1.1 Metoda fâșiilor

Metoda fâșiilor se aplică plăcilor rezemate pe un contur dreptunghiular sau pătrat, acționate de încărcări uniform distribuite q=g+p (kN/m^2) și încărcări concentrate P (kN) (vezi paragraful 1.2.3).

Placa (fig. 3.1) poate fi discretizată într-un număr variabil de fâșii paralele pe ambele direcții. Considerând cazul cel mai simplu al fâșiilor centrale cu lățimea unitară (1 m) de pe cele două direcții, acestea trebuie să satisfacă egalitățile:

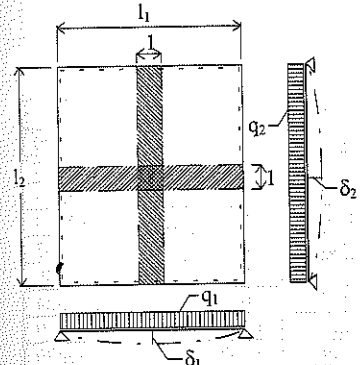


Fig. 3.1

$$\begin{cases} q_1 + q_2 = q \\ \delta_1 = \delta_2 \end{cases} \qquad (3.1)$$

Rezolvând sistemului de ecuații (3.1) în corelare cu condițiile de rezemare pe contur se obțin încărcările ce revin fiecărei fâșii de placă, iar în continuare eforturile corespondente. Introducând termeni de corecție care să ia în considerare micșorarea deformatelor celor două fâșii centrale ca urmare a conlucrării cu fâșiile învecinate și a efectelor momentelor de torsiune, momentele în câmpul plăcii se determină cu relații de forma:

$$M_j = \alpha_{ij} \cdot q \cdot l_j^2 \qquad (3.2)$$

unde:

i- indice care indică tipul de rezemare al plăcii pe contur ($i = \overline{1,6}$ la plăcile rezemate pe tot conturul);

j- indice care indică direcția de calcul (j=1,2);

M_j- momentul încovoietor pe direcția de calcul j pentru fâșia centrală de lățime unitară;

α_{ij}- coeficient pentru calculul valorii maxime a momentului în câmp;

q- încărcarea totală uniform distribuită pe placă (kN/m^2);

l_j- deschiderea de calcul pe direcția j.

Încărcările corespondente fâșiilor centrale se calculează cu ajutorul coeficienților β_{ij}:

$$q_j = \beta_{ij} \cdot q \qquad (3.3)$$

Cunoscând încărcările ce revin fâșiilor centrale se pot calcula și forțele tăietoare maxime în fâșiile centrale. Momentele pe reazeme se calculează cu relații de forma:

unde k_j este un coeficient care depinde de tipul rezemării pe direcţia j.

Coeficienţii pentru calculul valorilor maxime ale momentelor în câmp şi pe reazeme pentru plăcile independente armate pe două direcţii rezemate pe tot conturul sunt daţi în tabelele 3.1-3.6 (fig. 3.2-3.7).

Placa simplu rezemată pe tot conturul

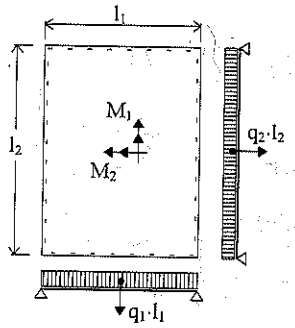


Fig. 3.2

$$\lambda = \frac{l_2}{l_1};\ M_1 = \alpha_{11} \cdot q \cdot l_1^2;\ M_2 = \alpha_{12} \cdot q \cdot l_2^2;\ q_1 = \beta_{11} \cdot q;\ \ q_2 = \beta_{12} \cdot q$$

Tabelul 3.1

λ	α_{11}	α_{12}	β_{11}	β_{12}	λ	α_{11}	α_{12}	β_{11}	β_{12}
0,50	0,0059	0,0946	0,0588	0,9412	1,00	0,0365	0,0365	0,5000	0,5000
0,55	0,0080	0,0881	0,0838	0,9162	1,10	0,0439	0,0300	0,5942	0,4058
0,60	0,0105	0,0813	0,1147	0,8853	1,20	0,0514	0,0248	0,6747	0,3253
0,65	0,0133	0,0744	0,1515	0,8485	1,30	0,0588	0,0206	0,7407	0,2593
0,70	0,0162	0,0676	0,1936	0,8064	1,40	0,0657	0,0171	0,7935	0,2065
0,75	0,0193	0,0612	0,2404	0,7596	1,50	0,0721	0,0142	0,8351	0,1649
0,80	0,0227	0,0555	0,2906	0,7094	1,60	0,0776	0,0118	0,8676	0,1324
0,85	0,0261	0,0491	0,3430	0,6570	1,70	0,0829	0,0099	0,8931	0,1069
0,90	0,0292	0,0447	0,3962	0,6028	1,80	0,0873	0,0082	0,9130	0,0870
0,95	0,0329	0,0403	0,4489	0,5511	1,90	0,0912	0,0070	0,9287	0,0713
1,00	0,0365	0,0365	0,5000	0,5000	2,00	0,0946	0,0059	0,9412	0,0588

Placa simplu rezemată pe trei laturi şi încastrată pe a patra latură

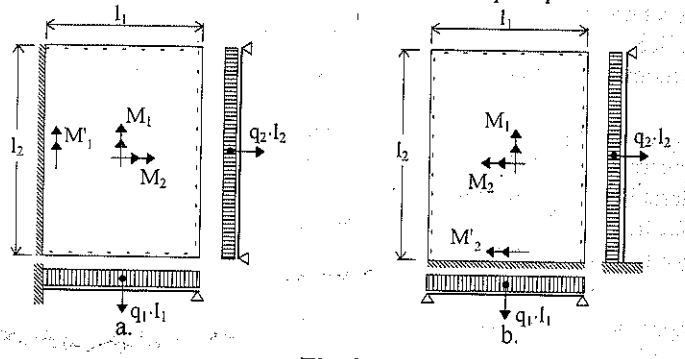


Fig. 3.3

$$\lambda = \frac{l_2}{l_1};\ M_1 = \alpha_{21} \cdot q \cdot l_1^2;\ M_2 = \alpha_{22} \cdot q \cdot l_2^2;\ q_1 = \beta_{21} \cdot q;\ \ q_2 = \beta_{22} \cdot q;$$

$$M'_1 = -\frac{q_1 \cdot l_1^2}{8}$$

Dacă latura încastrată este paralelă cu l_1 (fig. 3.3.b), sunt valabile titlurile inferioare din tabelul 3.2:

$$\lambda' = \frac{l_1}{l_2} = \frac{1}{\lambda};\ M_1 = \alpha_{21} \cdot q \cdot l_1^2;\ M_2 = \alpha_{22} \cdot q \cdot l_2^2;\ q_1 = \beta_{21} \cdot q;\ \ q_2 = \beta_{22} \cdot q;$$

$$M'_2 = -\frac{q_2 \cdot l_2^2}{8}$$

Tabelul 3.2

λ	α_{21}	α_{22}	β_{21}	β_{22}	λ	α_{21}	α_{22}	β_{21}	β_{22}
0,50	0,0071	0,0887	0,1351	0,8649	1,00	0,0334	0,0272	0,7143	0,2875
0,55	0,0093	0,0808	0,1862	0,8138	1,10	0,0384	0,0210	0,7854	0,2146
0,60	0,0117	0,0730	0,2447	0,7553	1,20	0,0429	0,0163	0,8383	0,1617
0,65	0,0142	0,0654	0,3086	0,6914	1,30	0,0467	0,0127	0,8772	0,1228
0,70	0,0169	0,0582	0,3751	0,6249	1,40	0,0499	0,0100	0,9057	0,0943
0,75	0,0197	0,0515	0,4417	0,5583	1,50	0,0526	0,0079	0,9268	0,0732
0,80	0,0224	0,0455	0,5059	0,4941	1,60	0,0546	0,0063	0,9425	0,0575
0,85	0,0252	0,0401	0,5661	0,4339	1,70	0,0567	0,0051	0,9543	0,0457
0,90	0,0280	0,0352	0,6212	0,3788	1,80	0,0587	0,0042	0,9633	0,0367
0,95	0,0307	0,0310	0,6706	0,3294	1,90	0,0600	0,0034	0,9702	0,0298
1,00	0,0334	0,0272	0,7143	0,2875	2,00	0,0606	0,0028	0,9756	0,0244
λ'	α_{22}	α_{21}	β_{22}	β_{21}	λ'	α_{22}	α_{21}	β_{22}	β_{21}

Placa simplu rezemată pe două laturi paralele şi încastrată pe celelalte

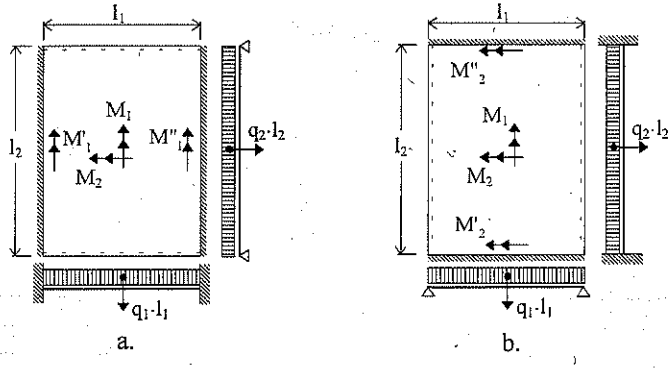


Fig. 3.4

Când laturile încastrate sunt paralele cu l_2 (fig. 3.4.a):

$$\lambda = \frac{l_2}{l_1};\ M_1 = \alpha_{31} \cdot q \cdot l_1^2;\ M_2 = \alpha_{32} \cdot q \cdot l_2^2;\ q_1 = \beta_{31} \cdot q;\ \ q_2 = \beta_{32} \cdot q;$$

$$M'_1 = M''_1 = -\frac{q_1 \cdot l_1^2}{12}$$

Dacă laturile încastrate sunt paralele cu l_1 (fig. 3.4.b), sunt valabile titlurile inferioare din tabelul 3.3:

$$M'_2 = M''_2 = -\frac{q_2 \cdot l_2^2}{12}$$

Tabelul 3.3

λ	α_{31}	α_{32}	β_{31}	β_{32}	λ	α_{31}	α_{32}	β_{31}	β_{32}
0,50	0,0073	0,0801	0,2381	0,7619	1,00	0,0267	0,0179	0,8333	0,1667
0,55	0,0093	0,0709	0,3139	0,6851	1,10	0,0293	0,0133	0,8789	0,1202
0,60	0,0114	0,0620	0,3932	0,6068	1,20	0,0313	0,0098	0,9120	0,0880
0,65	0,0136	0,0538	0,4716	0,5284	1,30	0,0330	0,0074	0,9346	0,0654
0,70	0,0157	0,0463	0,5456	0,4544	1,40	0,0343	0,0057	0,9505	0,0495
0,75	0,0178	0,0396	0,6127	0,3873	1,50	0,0353	0,0044	0,9620	0,0380
0,80	0,0198	0,0338	0,6709	0,3291	1,60	0,0362	0,0035	0,9704	0,0296
0,85	0,0218	0,0289	0,7230	0,2770	1,70	0,0369	0,0028	0,9766	0,0234
0,90	0,0235	0,0246	0,7664	0,2336	1,80	0,0374	0,0022	0,9813	0,0187
0,95	0,0252	0,0210	0,8029	0,1971	1,90	0,0379	0,0018	0,9849	0,0151
1,00	0,0267	0,0179	0,8333	0,1667	2,00	0,0383	0,0015	0,9877	0,0123
λ'	α_{32}	α_{31}	β_{32}	β_{31}	λ'	α_{32}	α_{31}	β_{32}	β_{31}

Placa simplu rezemată pe două laturi care se intersectează şi încastrată pe celelalte

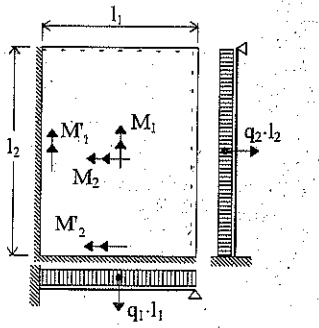


Fig. 3.5

$$\lambda = \frac{l_2}{l_1}; M_1 = \alpha_{41} \cdot q \cdot l_1^2; M_2 = \alpha_{42} \cdot q \cdot l_2^2; q_1 = \beta_{41} \cdot q;\ q_2 = \beta_{42} \cdot q;$$

$$M'_1 = -\frac{q_1 \cdot l_1^2}{8}; M''_2 = -\frac{q_2 \cdot l_2^2}{8}$$

Tabelul 3.4

λ	α_{41}	α_{42}	β_{41}	β_{42}	λ	α_{41}	α_{42}	β_{41}	β_{42}
0,50	0,0037	0,0589	0,0588	0,9412	1,00	0,0269	0,0269	0,5000	0,5000
0,55	0,0051	0,0561	0,0838	0,9162	1,10	0,0322	0,0220	0,5942	0,4058
0,60	0,0069	0,0529	0,1147	0,8853	1,20	0,0370	0,0179	0,6747	0,3253
0,65	0,0089	0,0496	0,1515	0,8485	1,30	0,0414	0,0145	0,7407	0,2593
0,70	0,0111	0,0462	0,1936	0,8064	1,40	0,0452	0,0118	0,7935	0,2065
0,75	0,0135	0,0427	0,2404	0,7596	1,50	0,0485	0,0096	0,8351	0,1649
0,80	0,0161	0,0393	0,2906	0,7094	1,60	0,0513	0,0078	0,8676	0,1324
0,85	0,0187	0,0359	0,3430	0,6570	1,70	0,0537	0,0064	0,8931	0,1069
0,90	0,0215	0,0327	0,3962	0,6038	1,80	0,0557	0,0053	0,9130	0,0870
0,95	0,0242	0,0297	0,4489	0,5511	1,90	0,0574	0,0044	0,9287	0,0713
1,00	0,0269	0,0269	0,5000	0,5000	2,00	0,0589	0,0037	0,9412	0,0588

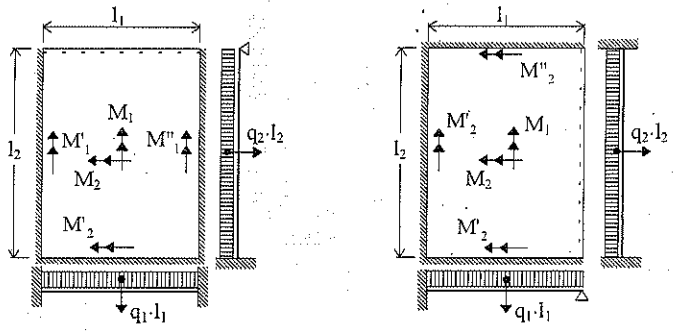


Fig. 3.6

Când latura simplu rezemată este paralelă cu l_1 (fig. 3.6.a):

$$\lambda = \frac{l_2}{l_1}; M_1 = \alpha_{51} \cdot q \cdot l_1^2; M_2 = \alpha_{52} \cdot q \cdot l_2^2; q_1 = \beta_{51} \cdot q;\ q_2 = \beta_{52} \cdot q;$$

$$M'_1 = M''_1 = -\frac{q_1 \cdot l_1^2}{12}; M'_2 = -\frac{q_2 \cdot l_2^2}{8}$$

Dacă latura simplu rezemată este paralelă cu l_2 (fig. 3.6.b), sunt valabile titlurile inferioare din tabelul 3.5:

$$\lambda' = \frac{l_1}{l_2} = \frac{1}{\lambda}; M_1 = \alpha_{51} \cdot q \cdot l_1^2; M_2 = \alpha_{52} \cdot q \cdot l_2^2; q_1 = \beta_{51} \cdot q;\ q_2 = \beta_{52} \cdot q;$$

$$M'_1 = -\frac{q_1 \cdot l_1^2}{8}; M'_2 = M''_2 = -\frac{q_2 \cdot l_2^2}{12}$$

Tabelul 3.5

λ	α_{51}	α_{52}	β_{51}	β_{52}	λ	α_{51}	α_{52}	β_{51}	β_{52}
0,50	0,0041	0,0560	0,1111	0,8889	1,00	0,0226	0,0198	0,6667	0,3333
0,55	0,0053	0,0523	0,1547	0,8453	1,10	0,0257	0,0153	0,7454	0,2546
0,60	0,0072	0,0484	0,2058	0,7942	1,20	0,0284	0,0119	0,8057	0,1943
0,65	0,0091	0,0442	0,2631	0,7369	1,30	0,0305	0,0092	0,8510	0,1490
0,70	0,0110	0,0401	0,3244	0,6756	1,40	0,0322	0,0072	0,8848	0,1152
0,75	0,0131	0,0361	0,3876	0,6124	1,50	0,0337	0,0057	0,9101	0,0899
0,80	0,0151	0,0323	0,4503	0,5497	1,60	0,0348	0,0046	0,9291	0,0709
0,85	0,0171	0,0287	0,5108	0,4892	1,70	0,0358	0,0037	0,9435	0,0565
0,90	0,0190	0,0254	0,5675	0,4325	1,80	0,0365	0,0030	0,9545	0,0455
0,95	0,0209	0,0224	0,6196	0,3804	1,90	0,0371	0,0024	0,9631	0,0369
1,00	0,0226	0,0198	0,6667	0,3333	2,00	0,0377	0,0020	0,9697	0,0303
λ'	α_{52}	α_{51}	β_{52}	β_{51}	λ'	α_{52}	α_{51}	β_{52}	β_{51}

Placa încastrată pe tot conturul

$$\lambda = \frac{l_2}{l_1}; M_1 = \alpha_{61} \cdot q \cdot l_1^2; M_2 = \alpha_{62} \cdot q \cdot l_2^2; q_1 = \beta_{61} \cdot q;\ q_2 = \beta_{62} \cdot q;$$

$$M'_1 = M''_1 = -\frac{q_1 \cdot l_1^2}{12}; M'_2 = M''_2 = -\frac{q_2 \cdot l_2^2}{12}$$

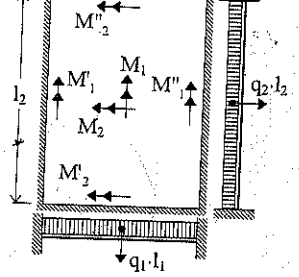


Fig. 3.7

Tabelul 3.6

λ	α_{61}	α_{62}	β_{61}	β_{62}	λ	α_{61}	α_{62}	β_{61}	β_{62}
0,50	0,0023	0,0367	0,0588	0,9412	1,00	0,0179	0,0179	0,5000	0,5000
0,55	0,0032	0,0352	0,0838	0,9162	1,10	0,0214	0,0146	0,5942	0,4058
0,60	0,0044	0,0336	0,1147	0,8853	1,20	0,0244	0,0118	0,6747	0,3253
0,65	0,0057	0,0322	0,1515	0,8485	1,30	0,0271	0,0095	0,7407	0,2593
0,70	0,0072	0,0299	0,1936	0,8064	1,40	0,0293	0,0076	0,7935	0,2065
0,75	0,0088	0,0279	0,2401	0,7599	1,50	0,0312	0,0062	0,8351	0,1649
0,80	0,0106	0,0258	0,2906	0,7094	1,60	0,0327	0,0050	0,8676	0,1324
0,85	0,0124	0,0238	0,3430	0,6570	1,70	0,0340	0,0041	0,8931	0,1069
0,90	0,0143	0,0217	0,3962	0,6038	1,80	0,0351	0,0033	0,9130	0,0870
0,95	0,0161	0,0198	0,4489	0,5511	1,90	0,0360	0,0028	0,9287	0,0713
1,00	0,0179	0,0179	0,5000	0,5000	2,00	0,0367	0,0023	0,9412	0,0588

3.1.2 Metoda analitică

Pornind de la geometria, ecuațiile de echilibru static și legea de comportare liniar-elastică a plăcilor plane și izotrope (fig. 3.8), ecuația diferențială de echilibru este:

$$\frac{\partial^4 w}{\partial x^4}+2\frac{\partial^2 w}{\partial x^2}\frac{\partial^2 w}{\partial y^2}+\frac{\partial^4 w}{\partial y^4}=\frac{q}{D} \qquad (3.5)$$

unde:

D- rigiditatea cilindrică a plăcii;

q- încărcarea exterioară uniform distribuită pe placă.

Rezolvând ecuațiile de forma (3.5), în corelare cu modul de rezemare al unei plăci și tipul încărcării, se obțin valorile numerice ale solicitărilor și deplasărilor.

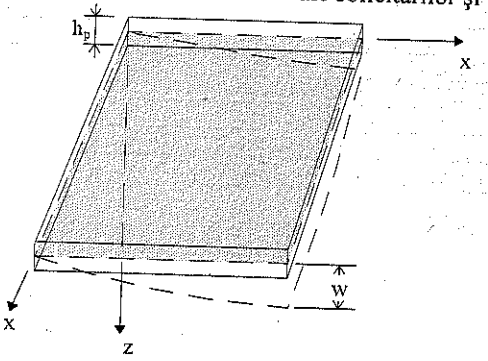


Fig. 3.8

unitară se calculează cu relații de forma:

$$M_j=\alpha_{ij}\cdot q\cdot l_j^2 \qquad (3.6)$$

în care:

i- indice care indică tipul de rezemare al plăcii pe contur ($i=\overline{1,4}$ la plăcile rezemate pe trei laturi);

j- indice care indică direcția de calcul (j=1,2);

M_j- momentul încovoietor pe direcția de calcul j pentru fâșia centrală de lățime unitară;

α_{ij}- coeficient pentru calculul valorii maxime a momentului în câmp;

q- încărcarea totală uniform distribuită pe placă (kN/m^2);

l_j- deschiderea de calcul pe direcția j.

Pentru fâșia marginală de lățime unitară paralelă cu latura liberă (l_1), momentul în câmp se determină cu:

$$M_1^0=\alpha_{i1}^0\cdot q\cdot l_1^2 \qquad (3.7)$$

în care coeficientul α_{i1}^0 are stabilite valori pentru calculul valorilor maxime ale momentelor în fâșiile marginale de lățime unitară paralele cu latura liberă.

Momentele pe reazemele fâșiilor centrale de lățime unitară se calculează cu ajutorul coeficienților α'_{ij} prin relații de forma:

$$M'_j\left(M''_j\right)=\alpha'_{ij}\cdot q\cdot l_j^2; \qquad (3.8)$$

Pentru fâșia de margine de lățime unitară paralelă cu latura liberă (l_1), momentele pe reazeme se determină pe baza coeficienților α_{ij}^0 etalonați pentru relații de forma:

$$M_1^0\left(M''^0_1\right)=\alpha''^0_{ij}\cdot q\cdot l_1^2; \qquad (3.9)$$

În tabelele 3.7-3.10 (fig. 3.9-3.12) sunt prezentați coeficienții pentru calculul plăcilor rezemate pe trei laturi

- *Placa simplu rezemată pe trei laturi*

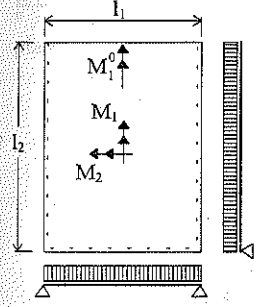


Fig. 3.9

Tabelul 3.7

λ	α_{11}	α_{11}^0	α_{12}
0,30	0,0144	0,0256	0,0104
0,40	0,0241	0,0415	0,0163
0,50	0,0344	0,0575	0,0214
0,60	0,0444	0,0724	0,0253
0,70	0,0538	0,0848	0,0282
0,80	0,0614	0,0922	0,0304
0,90	0,0703	0,1037	0,0313
1,00	0,0767	0,1108	0,0317
1,20	0,0886	0,1201	0,0322
1,50	0,0995	0,1264	0,0304
2,00	0,1115	0,1316	0,0271

$$\lambda=\frac{l_2}{l_1};\ M_1=\alpha_{11}\cdot q\cdot l_1^2;\ M_1^0=\alpha_{11}^0\cdot q\cdot l_1^2;$$

$$M_2=\alpha_{12}\cdot q\cdot l_2^2$$

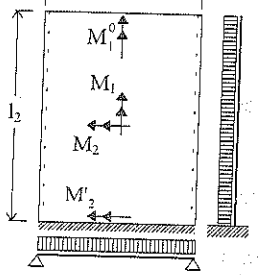


Fig. 3.10

λ	α_{21}	α_{21}^0	α_{22}	α'_{22}
0,30	0,0006	0,0056	-0,0066	-0,4308
0,40	0,0047	0,0153	-0,0047	-0,3687
0,50	0,0106	0,0288	-0,0013	-0,3091
0,60	0,0184	0,0436	0,0041	-0,2531
0,70	0,0270	0,0594	0,0096	-0,2066
0,80	0,0368	0,0736	0,0149	-0,1702
0,90	0,0456	0,0858	0,0193	-0,1416
1,00	0,0538	0,0955	0,0230	-0,1182
1,20	0,0682	0,1098	0,0280	-0,0845
1,50	0,0852	0,1229	0,0302	-0,0548
2,00	0,1032	0,1308	0,0288	-0,0312

$$\lambda = \frac{l_2}{l_1}; M_1 = \alpha_{21} \cdot q \cdot l_1^2; M_1^0 = \alpha_{21}^0 \cdot q \cdot l_1^2; M_2 = \alpha_{22} \cdot q \cdot l_2^2; M'_2 = \alpha'_{22} \cdot q \cdot l_2^2$$

Placa încastrată pe două laturi paralele şi simplu rezemată pe a treia

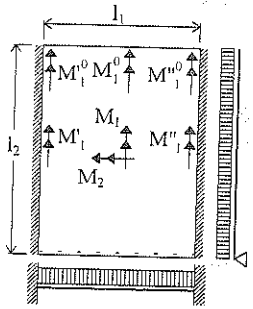


Fig. 3.11

Tabelul 3.9

λ	α_{31}	α_{31}^0	α_{32}	α'^0_{31}	α'_{31}
0,30	0,0120	0,0230	0,0096	-0,0693	-0,0377
0,40	0,0186	0,0307	0,0118	-0,0782	-0,0472
0,50	0,0233	0,0361	0,0134	-0,0846	-0,0557
0,60	0,0268	0,0403	0,0146	-0,0852	-0,0612
0,70	0,0301	0,0426	0,0151	-0,0854	-0,0662
0,80	0,0331	0,0438	0,0148	-0,0853	-0,0707
0,90	0,0350	0,0442	0,0142	-0,0850	-0,0744
1,00	0,0363	0,0445	0,0131	-0,0848	-0,0771
1,20	0,0387	0,0447	0,0118	-0,0846	-0,0605
1,50	0,0408	0,0449	0,0100	-0,0845	-0,0828
2,00	0,0417	0,0450	0,0080	-0,0845	-0,0833

$$\lambda = \frac{l_2}{l_1}; M_1 = \alpha_{31} \cdot q \cdot l_1^2; M_1^0 = \alpha_{31}^0 \cdot q \cdot l_1^2; M'_1 = M''_1 = \alpha'_{31} \cdot q \cdot l_1^2;$$

$$M'^0_1 = M''^0_1 = \alpha'^0_{31} \cdot q \cdot l_1^2; M_2 = \alpha_{32} \cdot q \cdot l_2^2$$

Placa încastrată pe trei laturi

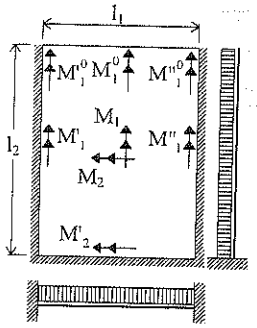


Fig. 3.12

$$\lambda = \frac{l_2}{l_1}; M_1 = \alpha_{41} \cdot q \cdot l_1^2; M_1^0 = \alpha_{41}^0 \cdot q \cdot l_1^2;$$

$$M'_1 = M''_1 = \alpha'_{41} \cdot q \cdot l_1^2; \; M'^0_1 = M''^0_1 = \alpha'^0_{41} \cdot q \cdot l_1^2;$$

$$M_2 = \alpha_{42} \cdot q \cdot l_2^2; M'_2 = \alpha'_{42} \cdot q \cdot l_2^2$$

0,30	0,0018	0,0078	-0,0044	-0,0131	-0,0333	-0,3833
0,40	0,0068	0,0172	-0,0002	-0,0242	-0,0545	-0,2783
0,50	0,0120	0,0268	0,0035	-0,0335	-0,0709	-0,2004
0,60	0,0177	0,0333	0,0072	-0,0416	-0,0798	-0,1476
0,70	0,0218	0,0384	0,0096	-0,0493	-0,0837	-0,1106
0,80	0,0249	0,0413	0,0115	-0,0561	-0,0848	-0,0865
0,90	0,0271	0,0426	0,0130	-0,0616	-0,0850	-0,0691
1,00	0,0289	0,0435	0,0130	-0,0734	-0,0851	-0,0387
1,20	0,0329	0,0443	0,0130	-0,0734	-0,0848	-0,0387
1,50	0,0371	0,0449	0,0112	-0,0793	-0,0846	-0,0248
2,00	0,0406	0,0450	0,0092	-0,0830	-0,0845	-0,0139

3.2 *Calculul static simplificat în domeniul plastic prin metoda echilibrului limită*

3.2.1 Noţiuni fundamentale

Metoda echilibrului limită presupune cunoaşterea poziţiilor şi direcţiilor liniilor de curgere. Acestea nu sunt influenţate semnificativ de direcţiile de aşezare a armăturii, astfel încât la plăcile având configuraţii regulate solicitate de sarcini uniform distribuite traseul liniilor de curgere este uşor de intuit. Regulile după care se pot construi mecanismele de cedare (fig. 3.13 a şi b) sunt:

- fiind date reazemele, rotirea plăcii are loc în jurul axelor ce unesc reazemele;
- traseul liniilor de curgere se consideră rectiliniu;
- liniile de curgere trec prin intersecţia axelor de rotaţie ale panourilor adiacente, după direcţia bisectoarelor unghiurilor formate de acestea;
- în lungul laturilor încastrate se formează linii de curgere la partea superioară, care le preced de regulă pe cele formate în câmp;
- panourile de placă delimitate de liniile de curgere şi axele de rotire se consideră plane şi indeformabile.

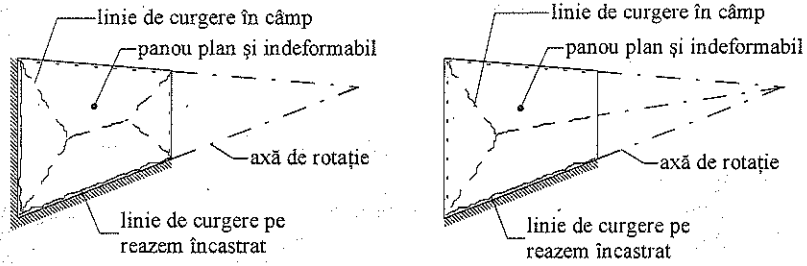


Fig. 3.13

Starea limită de rezistenţă se atinge când momentele încovoietoare corespunzătoare fâşiilor de placă cu lăţime unitară ating valorile momentelor capabile, calculate cu relaţii de forma:

$$M_{cap} = A_a \cdot R_a \cdot z_a \qquad (3.10)$$

A_a- aria de armătură întinsă pe metru liniar;
R_a- rezistența de calcul a armăturii întinse.
Valoarea aproximativă a brațului de pârghie este:

$$z_a \cong 0{,}9h_0 \tag{3.11}$$

unde h_0 este înălțimea utilă a secțiunii.

La atingerea încărcării capabile, se consideră formate toate liniile de curgere și deci mecanismul de cedare format. Având în vedere că deformațiile sunt mici, echilibrul se poate exprima folosind principiul lucrului mecanic virtual:

$$\mathbf{L}_e + \mathbf{L}_i = 0 \tag{3.12}$$

Pentru o deplasare virtuală $\delta w=1$ (fig. 3.14) dată în câmpul plăcii, lucrul mecanic virtual $\mathbf{L}_e$ al forțelor exterioare distribuite q și concentrate P_i (când există) se calculează cu relația:

$$\mathbf{L}_e = \int_A q \cdot \delta w \cdot dA + \sum_i P_i \cdot w_i \tag{3.13}$$

unde w_i sunt deplasările virtuale în dreptul forțelor concentrate.

Lucrul mecanic virtual $\mathbf{L}_i$ efectuat de momentele de calcul (momentele capabile) care acționează pe lungimea liniilor de curgere pentru aceeași deplasare virtuală dată mecanismului de cedare este:

$$\mathbf{L}_i = -\sum_j M_j \cdot s_j \cdot \varphi_j \tag{3.14}$$

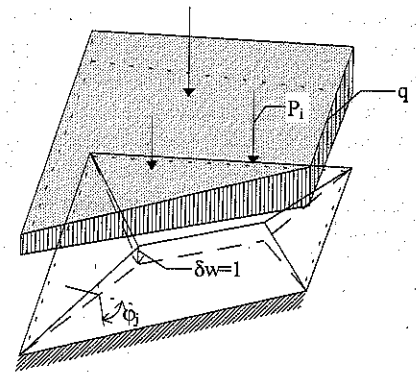


Fig. 3.14

unde:

M_j- momentul capabil (momentul de calcul) pe unitatea de lungime;
s_j- lungimea liniei de curgere;
φ_j- rotirea relativă a panourilor care se intersectează după linia de curgere sau în cazul reazemelor încastrate rotirea panoului de placă;

Pentru cazurile curente de proiectare, considerând o încărcare uniform distribuită g+p (kN/m^2), expresia lucrului mecanic $\mathbf{L}_e$ efectuat de forțele exterioare (3.13) se reduce la:

$$\mathbf{L}_e = q \cdot V \tag{3.15}$$

unde V este volumul deplasărilor virtuale (volumul delimitat de planul median al plăcii nedeformate și planurile mediane ale panourilor de placă rezultate în urma deplasării virtuale $\delta w=1$).

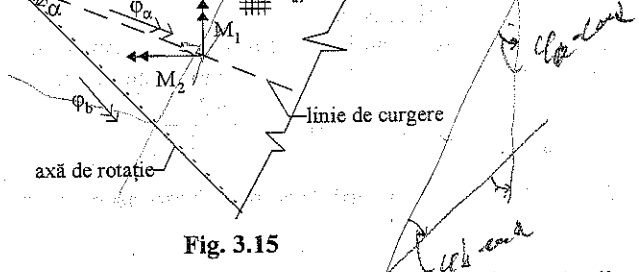


Fig. 3.15

Lucrul mecanic interior $\mathbf{L}_i$ este dat de momentele capabile ale armăturilor care intersectează liniile de curgere. Pentru o linie de curgere oarecare (fig. 3.15), rotirea relativă φ_α între panourile de placă este:

$$\begin{aligned} \vec{\varphi}_\alpha &= \vec{\varphi}_a - \vec{\varphi}_b \\ \varphi_\alpha &= (\varphi_a + \varphi_b)\cos\alpha \end{aligned} \tag{3.16}$$

în care φ_a și φ_b sunt rotirile panourilor de placă în raport cu axele de rotație, iar 2α este unghiul format de axele de rotație.

Lucrul mecanic interior $\mathbf{L}_i$ efectuat de armăturile A_{a1} și A_{a2} (fig. 3.16), dispuse pe o fâșie de placă de lățime unitară, este:

$$\mathbf{L}_i = \sum_{j=i}^{2} \vec{M}_j \cdot \vec{\varphi}_j = (\vec{M}_1 \cdot \sin\alpha + \vec{M}_2 \cdot \cos\alpha)\vec{\varphi}_\alpha \tag{3.17}$$

Lucrul mecanic interior $\mathbf{L}_i$ este o mărime scalară având valoarea negativă. Considerând relațiile (3.16) și (3.17), expresia lucrului mecanic interior devine:

$$\mathbf{L}_i = -(M_1 \cdot \sin\alpha + M_2 \cdot \cos\alpha)(\varphi_a + \varphi_b)\cos\alpha \tag{3.18}$$

Pentru cazul particular al unui unghi drept ($2\alpha=90°$), relația (3.18) devine:

$$\mathbf{L}_i = -(M_1 + M_2)\frac{\varphi_a + \varphi_b}{2} \tag{3.19}$$

Etapele practice de calcul pentru verificarea unei plăci (ariile de armătură A_{a1} și A_{a2} cunoscute) sunt:

- stabilirea mecanismelor de cedare posibile pe baza regulilor precizate la începutul acestui paragraf (pentru cazurile curente acestea sunt deja cunoscute și confirmate atât teoretic cât și experimental);
- scrierea ecuației de lucru mecanic virtual (3.12) pentru fiecare mecanism de cedare;
- dacă cantitatea de armătură de rezistență dispusă în placă este cunoscută, se va afla încărcarea capabilă pentru fiecare mecanism de cedare; încărcarea capabilă reală a plăcii va fi, potrivit teoriei cinematice, valoarea cea mai mică din cele rezultate.

Dacă se cunoaște mecanismul de cedare, etapele practice de calcul pentru dimensionarea ariilor de armătură pentru o încărcare exterioară g+p (kN/m^2) cunoscută sunt:

- scrierea ecuației de lucru mecanic virtual (3.12), considerând ca necunoscute momentele ce acționează după direcțiile liniilor de curgere;
- apelând la experiența de proiectare existentă, stabilirea de ecuații suplimentare cu ajutorul relațiilor logice între momentele de pe reazeme și cele din câmp pe câte o direcție și respectiv între momentele în câmp pe cele două direcții (acestea se pot stabili pe baza rezultatelor calculelor în domeniul elastic, în funcție de tipul de rezemare și dimensiunile plăcii);

• dimensionarea cantității de armătură.

În mod simplificat, cantitatea de armătură corespunzătoare unei fâșii de lățime unitară pentru un moment de calcul cunoscut se poate calcula cu relația:

$$A_a = \frac{M}{0{,}9h_0 \cdot R_a} \qquad (3.20)$$

3.2.2 Plăci dreptunghiulare rezemate pe contur

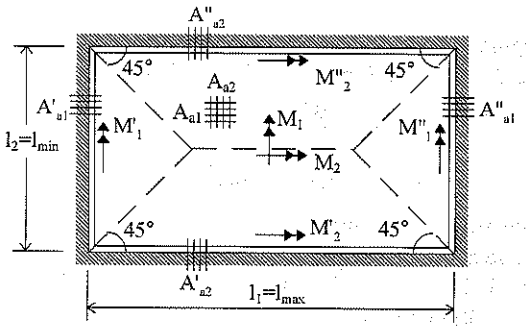


Fig. 3.16

Pentru placa încastrată pe tot conturul (fig. 3.16) ecuația de echilibru a lucrului mecanic virtual (3.12) devine:

$$\frac{1}{12}(g+p)(3l_1 - l_2)l_2^2 = (M'_1 + 2M_1 + M''_1)l_2 + (M'_2 + 2M_2 + M''_2)l_1 \qquad (3.21)$$

în care momentele $M_1, M'_1, M''_1, M_2, M'_2$ și M''_2 sunt momentele încovoietoare în fâșiile centrale de lățime unitară ale plăcii. Ecuația (3.21) este valabilă dacă în fâșiile de margine ale plăcii nu se efectuează reduceri ale cantității de armătură, în conformitate cu prevederile paragrafului 1.3.7. Dacă se efectuează reduceri cu 50% ale armăturii în fâșiile marginale în raport cu cele de câmp, ecuația (3.21) devine:

$$\frac{1}{12}(g+p)(3l_1 - l_2)l_2^2 = (M'_1 + 2M_1 + M''_1)l_2 + \left(\frac{3}{2}M_2 - \frac{1}{2}M_1 + M'_2 + M''_2\right)l_1 \qquad (3.22)$$

unde momentele au aceeași semnificație ca și în ecuația (3.21). Valorile raportului M_1/M_2 se iau între limitele cuprinse în tabelul 3.11, funcție de raportul $\lambda = l_2/l_1$ și în conformitate cu schemele de rezemare prezentate în figurile 3.2-3.7 din paragraful 3.1.1. Valoarea optimă a raportului M_1/M_2 poate fi stabilită cu ajutorul tabelelor 3.1-3.6.

Tabelul 3.11

λ	$\frac{M_2}{M_1}$	λ	$\frac{M_2}{M_1}$
0,5	0,12...0,20	1,3	1,70...2,20
0,6	0,20...0,35	1,4	2,00...2,80
0,7	0,35...0,50	1,5	2,50...3,70
0,8	0,50...0,70	1,6	2,80...4,10
0,9	0,70...0,90	1,7	3,30...5,00
1,0	0,90...1,10	1,8	4,00...6,00
1,1	1,10...1,40	1,9	4,50...7,00
1,2	1,30...1,70	2,0	5,00...8,00

Pentru celelalte scheme de rezemare ale plăcilor, orice latură care este simplu rezemată implică o valoare nulă a momentului încovoietor pe latura respectivă.

3.2.3 Plăci dreptunghiulare rezemate pe trei laturi

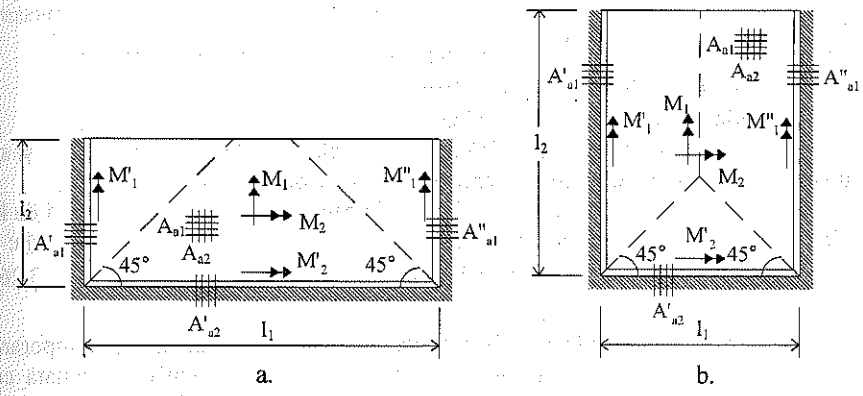


Fig. 3.17

Pentru plăcile la care $0{,}3 \le l_2/l_1 \le 0{,}5$ (fig. 3.17.a) relația (3.12) se reduce la:

$$\frac{1}{6}(g+p)(3l_1 - 2l_2)l_2^2 = (M'_1 + 2M_1 + M''_1)l_2 + \left(M'_2 + 2M_2 \cdot \frac{l_2}{l_1}\right)l_1 \qquad (3.23)$$

Dacă $0{,}5 \le l_2/l_1 \le 2{,}0$ (fig. 3.17.b) se obține:

$$\frac{1}{24}(g+p)(6l_2 - l_1)l_1^2 = (M'_1 + 2M_1 + M''_1)l_2 + (M'_2 + 2M_2)l_1 \qquad (3.24)$$

Momentele încovoietoare corespund fâșiilor centrale de lățime unitară, ca la plăcile rezemate pe contur, fără reducerea ariilor de armătură în fâșiile de margine. Valorile rapoartelor $M_2/M_1, M_1/M'_1, M_1/M''_1$ și M_2/M''_2 se iau între limitele cuprinse în tabelul 3.12. Valorile optime se pot stabili pe baza figurilor 3.9-3.12 și a tabelelor 3.7-3.10. Orice latură simplu rezemată conduce la un momentul încovoietor nul pe reazemul repectiv.

Tabelul 3.12

λ	$\frac{M_2}{M_1}$		$\frac{M_1}{M'_1} = \frac{M_1}{M''_1}$	$\frac{M_2}{M'_2}$
	Schemele de rezemare din figurile:			
	3.9 și 3.11	3.10 și 3.12	3.11 și 3.12	3.10 și 3.12
0,3	1,40...2,00	0,00...0,20	0,25...0,40	0,00...0,20
0,4	1,00...1,50	0,00...0,25	0,30...0,45	0,00...0,20
0,5	0,75...1,10	0,25...0,45	0,35...0,50	0,05...0,25
0,6	0,60...1,00	0,35...0,65	0,40...0,55	0,10...0,25
0,7	0,45...0,80	0,35...0,65	0,45...0,60	0,15...0,30
0,8	0,40...0,70	0,35...0,65	0,50...0,65	0,20...0,35
0,9	0,35...0,65	0,35...0,65	0,50...0,65	0,25...0,45
1,0	0,30...0,60	0,30...0,65	0,50...0,65	0,25...0,45
1,2	0,20...0,55	0,25...0,60	0,50...0,65	0,25...0,45
1,5	0,15...0,50	0,15...0,50	0,55...0,70	0,20...0,45
2,0	0,10...0,45	0,10...0,40	0,55...0,70	0,20...0,35

Momentele de calcul pe reazeme se determină cu relații de forma:

$$M'^{(")}_j = k_p \cdot M'^{(")}_{je} \qquad (3.25)$$

în care:

$M'^{(")}_{je}$ - momentele calculate în domeniul elastic pe reazemele plăcii;

j- indice care indică direcția de calcul (j=1,2);

k_p- coeficientul de adaptare plastică.

Coeficientul de adaptare plastică k_p are valorile date de expresiile (2.15) şi se calculează în aceleaşi condiții cu cele precizate în subcapitolul 2.4.

Determinarea momentelor încovoietoare în câmpul plăcii se face pornind de la ecuația (3.12) a lucrului mecanic virtual, prin metoda echilibrului limită, cu condiția:

$$\mathbf{L}_e + \mathbf{L}_i \le 0 \qquad (3.26)$$

unde:

$\mathbf{L}_e$- lucrul mecanic virtual efectuat de încărcările permanente şi temporare care acționează asupra plăcii, având o valoare întotdeauna pozitivă calculată cu expresia (3.15);

$\mathbf{L}_i$- lucrul mecanic virtual efectuat de momentele de calcul care acționează în lungul liniilor de curgere, cu o valoare întotdeauna negativă calculată cu expresia (3.14).

Momentele de calcul rezultate în câmp trebuie să respecte condiția:

$$M_j \ge k_p \cdot M_{je} \qquad (3.27)$$

în care M_{je} sunt momentele încovoietoare în câmpul plăcii calculate în domeniul elastic (j=1,2).

Raportul momentelor din câmp pe cele două direcții se ia egal cu cel rezultat în urma calculului în domeniul elastic.

De exemplu, pentru placa dreptunghiulară rezemată pe contur (fig. 3.18), ecuația lucrului mecanic virtual devine:

$$\frac{1}{12}(g+p)(3l_1 - l_2)l_2^2 = \left[2M_1 + k_p(M'_{1e}+M''_{1e})\right]l_2 + \left[2M_2 + k_p(M'_{2e}+M''_{2e})\right]l_1 \qquad (3.28)$$

Valorile raportului M_1/M_2 se stabilesc în acelaşi mod cu cel menționat în paragraful 3.2.2. După calcularea momentelor de calcul M_1 şi M_2 cantitățile de armătură se dimensionează cu metodele cunoscute.

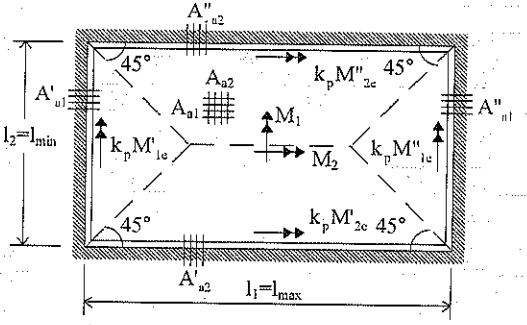


Fig. 3.18

Exemplul 3.4.1

Să se dimensioneze panoul de placă al unei terase acoperite, având alcătuirea prezentată în figura 3.19. Pardoseala este confecționată din plăci de beton mozaicat.

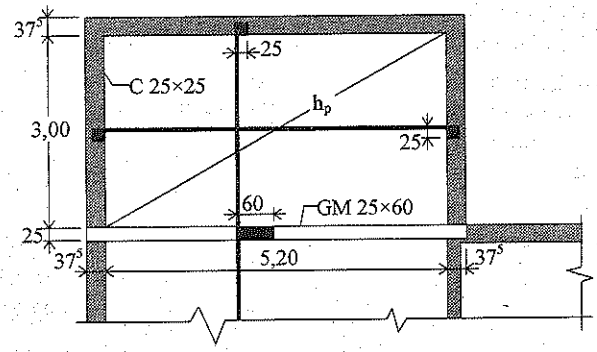


Fig. 3.19

Sistemul constructiv

- raportul deschiderilor panoului de placă 5,20/3,00=1,73<2
  ⇒ placă independentă armată pe două direcții;
- grosimea minimă recomandată (p. 1.3.2):

$$h_{pmin} = \begin{cases} l_{min}/40 = 3.000/40 = 75 \text{ mm} \\ 60 \text{ mm} \end{cases}$$

- se adoptă h_p=80 mm.

Acțiuni

Denumirea acțiunii	A^n (kN/m²)	n^d	A^{ld} (kN/m²)	n	A (kN/m²)
Acțiuni permanente					
- greutatea proprie a plăcii: 0,08m×25,0kN/m³	2,00	1,0	2,00	1,1	2,20
- pardodeală plăci mozaicate: 1,00kN/m²	1,00	1,0	1,00	1,3	1,30
TOTAL	g^n=3,00		g^{ld}=3,00		g=3,50
Acțiuni temporare					
- încărcarea utilă: 2,00kN/m²	2,00	0,4	0,80	1,4	2,80
TOTAL	p^n=2,00		p^{ld}=0,80		p=2,80

Schema statică (fig. 3.20). Deschideri de calcul

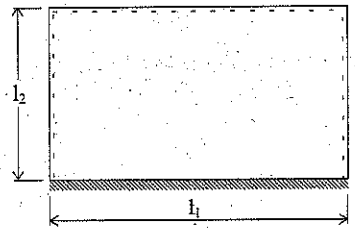


Fig. 3.20

• având în vedere monolitismul legăturilor deschiderile de calcul sunt (p. 1.2.1):

l_1=5,20 m l_2=3,00 m

Calculul static

• deoarece:

– panoul de placă are o latură încastrată;

– $v = q^{ld}/q^{n} = (3,00+0,80)/(3,00+2,00) = 0,76 > 0,75$;

– sarcina totală (g+p) este uniform distribuită;

calculul se va efectua în domeniul elastic prin metoda fâşiilor, în conformitate cu prevederile paragrafului 3.1.1;

• solicitările în secţiunile plăcii se determină cu ajutorul coeficienţilor de calcul din tabelul 3.2, raportul laturilor $\lambda' = 1/\lambda = l_1/l_2 = 5,20/3,00 = 1,73$ şi a relaţiilor de calcul asociate (valorile coeficienţilor α_{21}, α_{22}, β_{21} şi β_{22} se stabilesc prin interpolare lineară);

• momentele încovoietoare de calcul (fig. 3.21) în câmpul fâşiilor centrale sunt:

$$M_1 = \alpha_{21}\cdot(g+p)\cdot l_1^2 = 0,0048\times(3,50+2,80)\times 5,20^2 = 0,82 \text{ kNm}$$

$$M_2 = \alpha_{22}\cdot(g+p)\cdot l_2^2 = 0,0573\times(3,50+2,80)\times 3,00^2 = 3,25 \text{ kNm}$$

• încărcările de calcul ale fâşiilor centrale de lăţime unitară sunt:

$$q_1 = \beta_{21}(g+p) = 0,0430\times(3,50+2,80) = 0,27 \text{ kN/m}$$

$$q_2 = \beta_{22}(g+p) = 0,9680\times(3,50+2,80) = 6,10 \text{ kN/m}$$

• momentul încovoietor de calcul pe reazemul încastrat al fâşiei centrale de lăţime unitară de pe direcţia 2 este:

$$M'_2 = -\frac{q_2\cdot l_2^2}{8} = -\frac{6,10\times 3,00^2}{8} = -6,86 \text{ kNm}$$

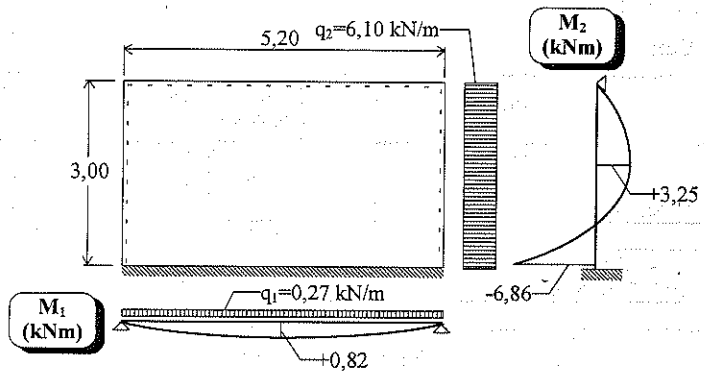


Fig. 3.21

• forţele tăietoare de calcul se calculează pentru fâşiile centrale de lăţime unitară pe schemele statice şi încărcările din figura 3.21:

– pe direcţia 1:

$$Q_{0,1} = +\frac{q_1\cdot l_1}{2} = +\frac{0,27\times 5,20}{2} = +0,70 \text{ kN}$$

$$Q_{1,0} = -\frac{q_1\cdot l_1}{2} = -\frac{0,27\times 5,20}{2} = -0,70 \text{ kN}$$

$$Q_{0,2} = +\frac{q_2\cdot l_2}{2} + \frac{|M'_2|}{l_2} = +\frac{6,10\times 3,00}{2} + \frac{6,86}{3,00} = +11,44 \text{ kN}$$

$$Q_{2,0} = -\frac{q_2\cdot l_2}{2} + \frac{|M'_2|}{l_2} = -\frac{6,10\times 3,00}{2} + \frac{6,86}{3,00} = -6,86 \text{ kN}$$

• în valoare absolută, forţele tăietoare maxime de calcul pe cele două direcţii sunt:

$$Q^1_{max} = |Q_{0,1}| = 0,77 \text{ kN} \qquad Q^2_{max} = |Q_{0,2}| = 11,44 \text{ kN}$$

Dimensionarea

Materiale

• beton Bc 15, cu $R_{ck} = 12,50$ MPa, $R_{tk} = 1,19$ MPa (anexa II, tab. II.1):

– $R_c^* = 9,50$ MPa, m_{bc}=1,0, $R_t^* = 1,19$ MPa, m_{bt}=1,0 (anexa II, tab. II.1):

$$R_c = m_{bc}\cdot R_c^* = 1,0\times 9,50 = 9,50 \text{ MPa}$$

$$R_t = m_{bt}\cdot R_t^* = 1,0\times 0,80 = 0,80 \text{ MPa}$$

• oţel OB 37, cu $R_{ak} = 255$ MPa (anexa II, tab. II.2), pe direcţia 1:

– $R_a^* = 210$ MPa, m_a=1,0 (anexa II, tab. II.2):

$$R_a = m_a\cdot R_a^* = 1,0\times 210 = 210 \text{ MPa}$$

• oţel PC 52, cu $R_{ak} = 355$ MPa (anexa II, tab. II.2), pe direcţia 2:

– $R_a^* = 300$ MPa, m_a=1,0 (anexa II, tab. II.2):

$$R_a = m_a\cdot R_a^* = 1,0\times 300 = 300 \text{ MPa}$$

Mărimi geometrice ale secţiunii

• pentru plăci din categoria II-a din punctul de vedere al condiţiilor de expunere:

$$a \geq \begin{cases} 15 \text{ mm (p.1.3.1, tab. 1.1)} \\ 1,2d_{max} \cong 1,2\times 8 = 9,6 \text{ mm (p.1.3.1)} \end{cases} \Rightarrow a = 15 \text{ mm}$$

• înălţimile utile ale plăcii:

– pe direcţia 1: $h_{01} = h_p - \left(a + d_2 + \frac{d_1}{2}\right) \cong 80 - \left(15 + 8 + \frac{6}{2}\right) = 54$ mm

– pe direcţia 2: $h_{02} = h_p - \left(a + \frac{d_2}{2}\right) \cong 80 - \left(15 + \frac{8}{2}\right) = 61$ mm

Armarea în câmp

• pe direcţia 1

$$m_1 = \frac{M_1}{b\cdot h_{01}^2\cdot R_c} = \frac{0,82\times 10^6}{1.000\times 54^2\times 9,50} = 0,0296 < m_b = 0,4$$

$$\Rightarrow p_1^c = p_1 = 0,136\% > 0,100\%$$

$$A_{a1} = \frac{p_1}{100} b\cdot h_{01} = \frac{0,136}{100}\times 1.000\times 54 = 73 \text{ mm}^2$$

$$A_{a1}^{ef} = 85 \text{ mm}^2 \ (3\ \varnothing 6/\text{m})$$

• pe direcţia 2

$$m_2 = \frac{M_2}{b\cdot h_{02}^2\cdot R_c} = \frac{3,25\times 10^6}{1.000\times 61^2\times 9,50} = 0,0919 < m_b = 0,4$$

$$A_{a2} = \frac{p_2}{100} b \cdot h_{02} = \frac{0,500}{100} \times 1.000 \times 61 = 187 \text{ mm}^2$$

$$A_{a2}^{ef} = 201 \text{ mm}^2 \ (4\ \varnothing 8 / \text{m})$$

Armarea reazemului

• reazemul 2'

$$m'_2 = \frac{M'_2}{b \cdot h_{02}^2 \cdot R_c} = \frac{6,86 \times 10^6}{1.000 \times 61^2 \times 9,50} = 0,1941 < m_b = 0,4$$

$$\Rightarrow p'^{ic}_2 = p'_2 = 0,690\% > 0,100\%$$

$$A'_{a2} = \frac{p'_2}{100} b \cdot h_{02} = \frac{0,690}{100} \times 1.000 \times 61 = 421 \text{ mm}^2$$

$$A'^{ef}_{a2} = 453 \text{ mm}^2 \ (9\ \varnothing 8/\text{m})$$

Verificarea la acțiunea forței tăietoare

• înlocuind forțele tăietoare maxime în relația (1.18) se obține:

$$\frac{Q^1_{max}}{b \cdot h_{01} \cdot R_t} = \frac{0,70 \times 10^3}{1.000 \times 54 \times 0,80} = 0,02 < 0,75$$

$$\frac{Q^2_{max}}{b \cdot h_{02} \cdot R_t} = \frac{11,44 \times 10^3}{1.000 \times 61 \times 0,80} = 0,23 < 0,75$$

$\Rightarrow$ nu este necesară dimensionarea de armătură pentru acțiunea forței tăietoare.

Schița de armare (fig. 3.22)

• armarea colțurilor în care se intersectează laturi simplu rezemate se armează cu plase ortogonale $\varnothing 6/15 \times \varnothing 6/15$, în conformitate cu prevederile paragrafului 1.3.7.

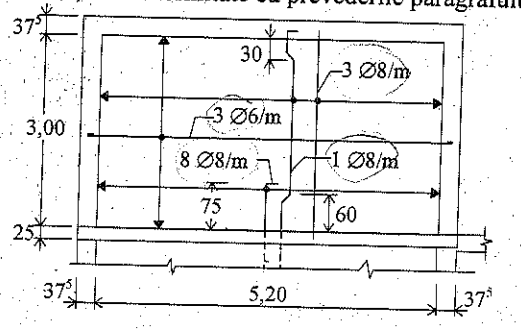


Fig. 3.22

Exemplul 3.4.2

Să se calculeze încărcarea capabilă a plăcii dimensionată în exemplul 3.4.1, pe baza schiței de armare din figura 3.22.

Mecanismul de cedare

• prima linie de curgere se formează la fața superioară a plăcii pe latura încastrată, fiind urmată de formarea liniilor de curgere la fața inferioară în câmpul plăcii; mecanismul de cedare este prezentat în figura 3.23;

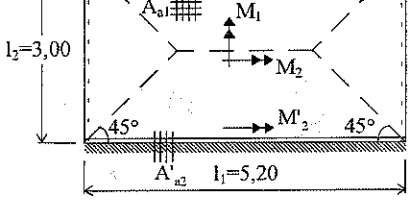


Fig. 3.23

Aria armăturilor care intersectează liniile de curgere

• în figura 3.24 sunt prezentate fâșiile corespunzătoare cantităților de armătură care intersectează liniile de curgere, armături dispuse pentru preluarea momentului încovoietor în câmp pe direcția 1 (în conformitate cu schița de armare din figura 3.22, întreaga cantitate unitară de armătură A_{a1} intersectează liniile de curgere);

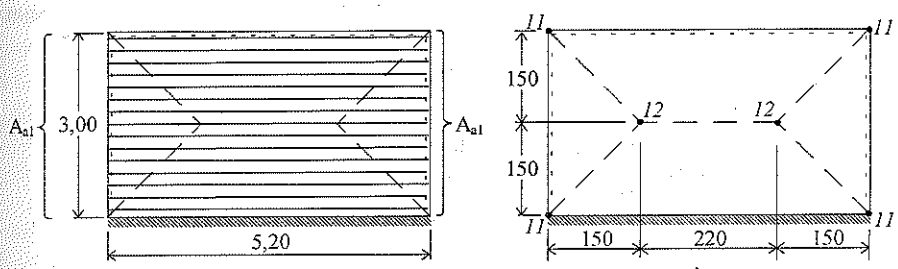


Fig. 3.24

• după cum se observă în schița de armare din figura 3.22, 25% din armătura A_{a2} dimensionată pentru preluarea momentelor încovoietoare în câmp pe direcția 2 se ridică pe reazeme; armăturile care se ridică pe reazeme se consideră că nu mai preiau moment încovoietor începând cu o lungime egală cu $h_p/2=80/2=40$ mm de la secțiunea de înclinare; pentru direcția de calcul 2, fâșiile corespunzătoare armăturilor care intersectează liniile de curgere sunt prezentate în figura 3.25.a, iar în figura 3.25.b sunt puse în evidență segmentele liniilor de curgere delimitate de punctele *21÷25*;

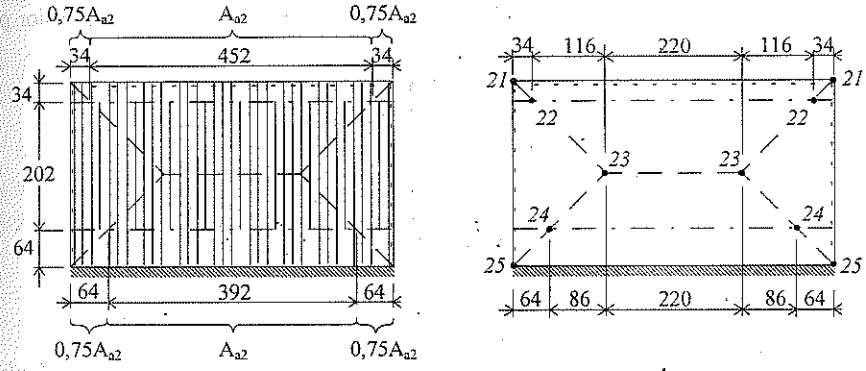


Fig. 3.25

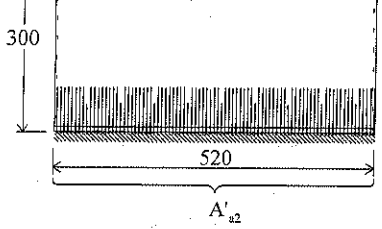


Fig. 3.26

• întreaga cantitate de armătură dispusă pe direcția 2 pentru preluarea momentului de pe reazem intersectează linia de curgere paralelă cu latura încastrată (fig. 3.26).

Date constructive

Materiale

• beton Bc 15, cu $R_{ck} = 12{,}50$ MPa, $R_{tk} = 1{,}19$ MPa (anexa II, tab. II.1):
– $R_c^* = 9{,}50$ MPa, $m_{bc}=1{,}0$, $R_t^* = 1{,}19$ MPa, $m_{bt}=1{,}0$ (anexa II, tab. II.1):

$$R_c = m_{bc} \cdot R_c^* = 1{,}0 \times 9{,}50 = 9{,}50 \text{ MPa}$$
$$R_t = m_{bt} \cdot R_t^* = 1{,}0 \times 0{,}80 = 0{,}80 \text{ MPa}$$

• oțel OB 37, cu $R_{ak} = 255$ MPa (anexa II, tab. II.2), pe direcția 1 :
– $R_a^* = 210$ MPa, $m_a=1{,}0$ (anexa II, tab. II.2):

$$R_a = m_a \cdot R_a^* = 1{,}0 \times 210 = 210 \text{ MPa}$$

• oțel PC 52, cu $R_{ak} = 355$ MPa (anexa II, tab. II.2), pe direcția 2:
– $R_a^* = 300$ MPa, $m_a=1{,}0$ (anexa II, tab. II.2):

$$R_a = m_a \cdot R_a^* = 1{,}0 \times 300 = 300 \text{ MPa}$$

Mărimi geometrice ale secțiunii

• grosimea minimă a stratului de acoperire cu beton este $a = 15$ mm;
• distanța de la fibra extremă întinsă până la centrul de greutate al armăturii $A_{a1} = 85$ mm^2 (3 Ø6 / m), în câmp pe direcția de calcul 1 este:

$$a_1 = a + d_2 + \frac{d_1}{2} = 15 + 8 + \frac{6}{2} = 26 \text{ mm}$$

• distanțele de la fibrele extreme întinse până la centrele de greutate ale armăturilor pe direcția de calcul 2 sunt:
– în câmp $A_{a2} = 201$ mm^2 (4 Ø8 / m):

$$a_2 = a + \frac{d_2}{2} = 15 + \frac{8}{2} = 19 \text{ mm}$$

– pe reazem $A'_{a2} = 453$ mm^2 (9 Ø8/m):

$$a'_2 = a + \frac{d'_2}{2} = 15 + \frac{8}{2} = 19 \text{ mm}$$

• înălțimile utile ale plăcii:
– pe direcția 1: $h_{01} = h_p - a_1 = 80 - 26 = 54$ mm
– pe direcția 2: $h_{02} = h_p - a_2 = 80 - 19 = 61$ mm
$h'_{02} = h_p - a'_2 = 80 - 19 = 61$ mm

• aplicând relațiile (3.10) și (3.11), momentele capabile sunt:
– pe direcția 1:

$$M_{1cap} \cong 0{,}9 A_{a1} \cdot R_a \cdot h_{01} = 0{,}9 \times 85 \times 210 \times 54 = 0{,}87 \times 10^6 \text{ Nmm} = 0{,}87 \text{ kNm}$$

– pe direcția 2:

$$M_{2cap} \cong 0{,}9 A_{a2} \cdot R_a \cdot h_{02} = 0{,}9 \times 201 \times 300 \times 61 = 3{,}31 \times 10^6 \text{ Nmm} = 3{,}31 \text{ kNm}$$

$$M'_{2cap} \cong 0{,}9 A'_{a2} \cdot R_a \cdot h'_{02} = 0{,}9 \times 453 \times 300 \times 61 = 7{,}46 \times 10^6 \text{ Nmm} = 7{,}46 \text{ kNm}$$

Aplicarea principiului lucrului mecanic virtual

• pentru deplasarea virtuală $\delta w=1$ (fig. 3.27), rotirile panourilor rigide în raport cu axele de rotație din lungul laturilor de rezemare sunt:

$$\varphi_1 = \varphi_2 = \frac{1}{l_2/2} = \frac{1}{3{,}00/2} = 2/3 \text{ m}^{-1}$$

• aplicând relațiile (3.14) și (3.19), se obține lucrul mecanic virtual $\mathbf{L_{i1}}$ efectuat de momentele capabile ale armăturii dispusă în câmp pe direcția 1:

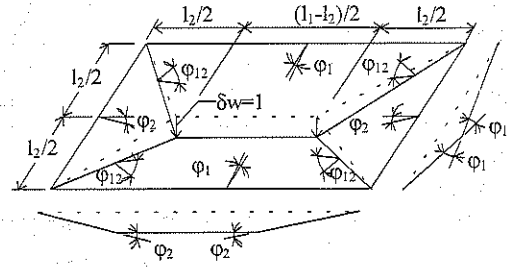


Fig. 3.27

$$\mathbf{L_{i1}} = 4\mathbf{L_{i1}^{11-12}} = 4\left[-M_{1cap} \cdot \left(\text{pr.V}\overline{|s_{11-12}|}\right)\frac{\varphi_1+\varphi_2}{2}\right] = 4\times\left(-0{,}87\times 1{,}50\times\frac{2/3+2/3}{2}\right) = -3{,}48 \text{ kJ}$$

• procedând analog se obține lucrul mecanic virtual $\mathbf{L_{i2}}$ efectuat de momentele capabile ale armăturii dispusă în câmp pe direcția 2:

$$\mathbf{L_{i2}} = 2\mathbf{L_{i2}^{21-22}} + 2\mathbf{L_{i2}^{22-23}} + 2\mathbf{L_{i2}^{23-24}} + 2\mathbf{L_{i2}^{24-25}} + \mathbf{L_{i2}^{23-23}} =$$

$$= 2\left[-0{,}75 M_{2cap} \cdot \left(\text{pr.O}\overline{|s_{21-22}|}\right)\frac{\varphi_1+\varphi_2}{2}\right] + 2\left[-M_{2cap} \cdot \left(\text{pr.O}\overline{|s_{22-23}|}\right)\frac{\varphi_1+\varphi_2}{2}\right] +$$

$$+ 2\left[-M_{2cap} \cdot \left(\text{pr.O}\overline{|s_{23-24}|}\right)\frac{\varphi_1+\varphi_2}{2}\right] + 2\left[-0{,}75 M_{2cap} \cdot \left(\text{pr.O}\overline{|s_{24-25}|}\right)\frac{\varphi_1+\varphi_2}{2}\right] +$$

$$+ \left[-M_{2cap} \cdot s_{23-23}(\varphi_i + \varphi_1)\right] = 2\times\left(-0{,}75\times 3{,}31\times 0{,}34\times\frac{2/3+2/3}{2}\right) +$$

$$+ 2\times\left(-3{,}31\times 1{,}16\times\frac{2/3+2/3}{2}\right) + 2\times\left(-3{,}31\times 0{,}86\times\frac{2/3+2/3}{2}\right) +$$

$$+ 2\times\left(-0{,}75\times 3{,}31\times 0{,}64\times\frac{2/3+2/3}{2}\right) + \left[-3{,}31\times 2{,}20\times(2/3+2/3)\right] = -21{,}87 \text{ kJ}$$

• lucrul mecanic virtual $\mathbf{L'_{i2}}$ efectuat de momentele capabile ale armăturii dispusă pe reazemul de pe direcția 2 este:

• lucrul mecanic virtual L_i efectuat de întreaga armătură dispusă în placă este:

$$L_i = L_{i1} + L_{i2} + L'_{i2} = -3,48 - 21,87 - 25,86 = -51,21\,kJ$$

• aplicând relația (3.15) se obține lucrul mecanic virtual efectuat de încărcarea capabilă q_{cap}, volumul deplasărilor virtuale calculându-se în conformitate cu figura 3.28:

$$L_e = q_{cap} \cdot V = q_{cap}\left(\frac{1}{2} l_2 \cdot 1 \cdot l_1 - 2 \cdot \frac{1}{2} \cdot l_2 \cdot 1 \cdot \frac{1}{3} \cdot \frac{l_2}{2}\right) = q_{cap} \frac{l_2}{6}(3l_1 - l_2) =$$

$$= \frac{3,00}{6} \times (3 \times 5,20 - 3,00) \cdot q_{cap} = 6,3 q_{cap}$$

• aplicând ecuația generală a principiului lucrului mecanic virtual (3.12) se obține încărcarea capabilă:

$$-51,21 + 6,3 q_{cap} = 0 \Rightarrow q_{cap} = 8,13\ kN/m^2$$

Discuție

• se observă că încărcarea totală de calcul pentru care s-a dispus cantitatea efectivă de armătură în exemplul 3.4.1 este q=6,30 kN/m^2, iar încărcarea capabilă calculată este q_{cap}=8,13 kN/m^2; pentru cantitățile de calcul (teoretice) ale armăturii rezultate în urma dimensionării, încărcarea capabilă ar avea valoarea q_{cap}=7,52 kN/m^2;

• diferența se datorează mai puțin dispunerii unor cantități de armătură mai mari decât cele ieșite din calcul, cât ipotezelor de calcul luate în considerare la calculul simplificat în domeniul plastic (indeformabilitatea panourilor delimitate de liniile de curgere și curgerea întregii cantități de armătură care intersectează liniile de curgere);

• dacă s-ar aplica direct relația generală de calcul (3.21) pentru plăcile dreptunghiulare, fără a lua în considerare ridicarea armăturilor pe reazeme s-ar obține:

$$\frac{1}{12} q_{cap}(3l_1 - l_2) l_2^2 = \left(M'_{1cap} + 2M_{1cap} + M''_{1cap}\right) l_2 + \left(M'_{2cap} + 2M_{2cap} + M''_{2cap}\right) l_1$$

$$\frac{1}{12} \times (3 \times 5,20 - 3,00) \times 3,00^2 \cdot q_{cap} = (0 + 2 \times 0,87 + 0) \times 3,00 + (7,46 + 2 \times 3,31 + 0) \times 5,20$$

$$9,45 q_{cap} = 78,44 \Rightarrow q_{cap} = 8,30\ kN/m^2$$

• în acest caz influența (circa 2,1%) ridicării armăturilor din câmp pe reazeme este redusă; ponderea cea mai mare în această diferență o au armăturile ridicate pentru preluarea momentului de pe reazem; această pondere crește cu cât un panou de placă are mai multe laturi încastrate și numărul relativ de bare ridicate este mai mare;

• ridicarea armăturii pe reazeme pentru preluarea momentelor încovoietoare trebuie luată în considerare la calculul și dimensionarea plăcilor; ridicarea armăturilor pe reazemele simplu rezemate la 1/10 din deschidere poate fi acoperită de coeficienții parțiali de siguranță ai materialelor.

Exemplul 3.4.3

Să se dimensioneze pe baza unui calcul static în domeniul plastic prin modificarea rezultatelor calculului în domeniul elastic panoul de placă monolită calculat în exemplul 3.4.1.

Calculul coeficientului de adaptare plastică (subcap. 2.4)

• raportul între încărcarea totală de lungă durată și încărcarea totală de calcul este:

$$v = \frac{q^{id}}{q} = \frac{3,00 + 0,80}{3,50 + 2,80} = \frac{3,80}{6,30} = 0,603$$

$k_p = 0,8(v + 0,25) = 0,8 \times (0,603 + 0,25) = 0,682 < 0,8 \Rightarrow k_p = 0,8$

Calculul static

• valoarea momentului încovoietor pe latura încastrată este dată de relația (3.25):

$$M'_2 = k_p \cdot M'_{2e} = 0,8 \times (-6,86) = -5,49\ kNm$$

• momentele maxime în câmpuri asociate momentului plastic de pe reazem se calculează utilizând ecuația lucrului mecanic virtual (3.28), care nu ia în considerare întreruperea sau ridicarea barelor, situație corespunzătoare armării cu plase sudate a panoului de placă:

$$\frac{1}{12} q(3l_1 - l_2) l_2^2 = 2M_1 \cdot l_2 + \left[2M_2 + k_p \cdot M'_{2e}\right] l_1$$

$$\frac{1}{12} \times 6,30 \times (3 \times 5,20 - 3,00) \times 3,00^2 = 2M_1 \times 3,00 + \left[2M_2 + 0,8 \times 6,86\right] \times 5,20$$

$$31,0 = 6M_1 + 10,4M_2$$

• cea de a doua ecuație între momentele încovoietoare din câmp se obține cu ajutorul raportului între momentele încovoietoare din domeniul elastic;

• în exemplul de calcul 3.4.1, pentru $\lambda' = 1/\lambda = l_1/l_2 = 5,20/3,00 = 1,73$, din tabelul 3.2 s-au extras valorile coeficienților α_{21} și α_{22}, obținându-se valorile momentelor încovoietoare;

• cea de a doua ecuație este:

$$\frac{M_1}{M_2} = \frac{M_{1e}}{M_{2e}} = \frac{0,82}{3,25} = 0,252$$

• momentele încovoietoare în câmp se află prin rezolvarea sistemului de ecuații:

$$\begin{cases} 6M_1 + 10,4M_2 = 31,0 \\ M_1 = 0,252 M_2 \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} M_1 = 0,66\ kNm \\ M_2 = 2,60\ kNm \end{cases}$$

• momentele încovoietoare minime în câmp date de relația (3.27) sunt:

$$\begin{cases} M_{1min} = k_p \cdot M_{1e} = 0,8 \times (+0,82) = +0,66\ kNm \\ M_{2min} = k_p \cdot M_{2e} = 0,8 \times (+3,25) = +2,60\ kNm \end{cases}$$

$$\Rightarrow \begin{cases} M_1 = M_{1min} = +0,66\ kNm \\ M_2 = M_{2min} = +2,60\ kNm \end{cases}$$

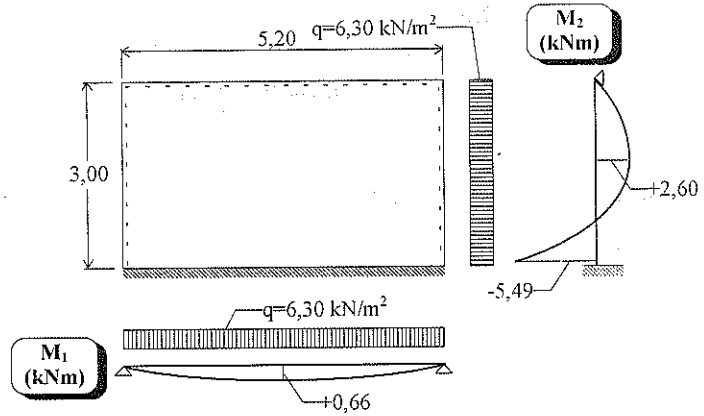


Fig. 3.28

Materiale

- beton Bc 15, cu $R_{ck} = 12{,}50$ MPa, $R_{tk} = 1{,}19$ MPa (anexa II, tab. II.1):
  - $R_c^* = 9{,}50$ MPa, $m_{bc}=1{,}0$, $R_t^* = 1{,}19$ MPa, $m_{bt}=1{,}0$ (anexa II, tab. II.1):

$$R_c = m_{bc} \cdot R_c^* = 1{,}0 \times 9{,}50 = 9{,}50 \text{ MPa}$$

$$R_t = m_{bt} \cdot R_t^* = 1{,}0 \times 0{,}80 = 0{,}80 \text{ MPa}$$

- oțel STNB, cu $R_{ak} = 440$ MPa (anexa II, tab. II.2):
  - $R_a^* = 370$ MPa, $m_a=1{,}0$ (anexa II, tab. II.2):

$$R_a = m_a \cdot R_a^* = 1{,}0 \times 370 = 370 \text{ MPa}$$

Mărimi geometrice ale secțiunii

- pentru plăci din categoria II-a din punctul de vedere al condițiilor de expunere:

$$a \geq \begin{cases} 15 \text{ mm (p.1.3.1, tab. 1.1)} \\ 1{,}2d_{max} \cong 1{,}2 \times 6 = 7{,}2 \text{ mm (p.1.3.1)} \end{cases} \Rightarrow a = 15 \text{ mm}$$

- înălțimile utile ale plăcii:

– pe direcția 1: $h_{01} = h_p - \left(a + d_2 + \frac{d_1}{2}\right) \cong 80 - \left(15 + 6 + \frac{5}{2}\right) = 56{,}5$ mm

– pe direcția 2: $h_{02} = h_p - \left(a + \frac{d_2}{2}\right) \cong 80 - \left(15 + \frac{6}{2}\right) = 62$ mm

Armarea în câmp

- pe direcția 1

$$m_1 = \frac{M_1}{b \cdot h_{01}^2 \cdot R_c} = \frac{0{,}66 \times 10^6}{1.000 \times 56{,}5^2 \times 9{,}50} = 0{,}0214 < m_b = 0{,}4$$

$$\Rightarrow 0{,}045\% < p_1^c = 0{,}056\% < 0{,}085\%$$

$$\Rightarrow p_1 = p_{1min} = 1{,}15 p_1^c = 1{,}15 \times 0{,}056 = 0{,}065$$

$$A_{a1} = \frac{p_1}{100} b \cdot h_{01} = \frac{0{,}065}{100} \times 1.000 \times 56{,}5 = 37 \text{ mm}^2$$

- pe direcția 2

$$m_2 = \frac{M_2}{b \cdot h_{02}^2 \cdot R_c} = \frac{2{,}60 \times 10^6}{1.000 \times 62^2 \times 9{,}50} = 0{,}0712 < m_b = 0{,}4$$

$$\Rightarrow p_2^c = p_2 = 0{,}190\% > 0{,}100\%$$

$$A_{a2} = \frac{p_2}{100} b \cdot h_{02} = \frac{0{,}190}{100} \times 1.000 \times 62 = 118 \text{ mm}^2$$

Se adoptă plasă sudată netipizată Ø5,6/200×Ø5/200: A_{a1}=98 mm^2, A_{a2}=123 mm^2.

Armarea reazemului

- reazemul 2'

$$m'_2 = \frac{M'_2}{b \cdot h_{02}^2 \cdot R_c} = \frac{5{,}49 \times 10^6}{1.000 \times 62^2 \times 9{,}50} = 0{,}1503 < m_b = 0{,}4$$

$$\Rightarrow p'^c_2 = p'_2 = 0{,}420\% > 0{,}100\%$$

$$A'^{ef}_{a2} = 283 \text{ mm}^2 \ (\varnothing 6/200)$$

Se adoptă plasă sudată 127 GR 283.

Schița de armare (fig. 3.29)

- armarea cu plasă sudată în câmpul panoului de placă, dispusă la partea inferioară, este prezentată în figura 3.29.a;
- plasa sudată dispusă la partea superioară, pe latura încastrată a panoului de placă, este prezentată în figura 3.29.b;
- colțurile panoului în care se intersectează laturi simplu rezemate, se armează cu plase ortogonale Ø5,6/200×Ø5/200, în conformitate cu prevederile paragrafului 1.3.7.

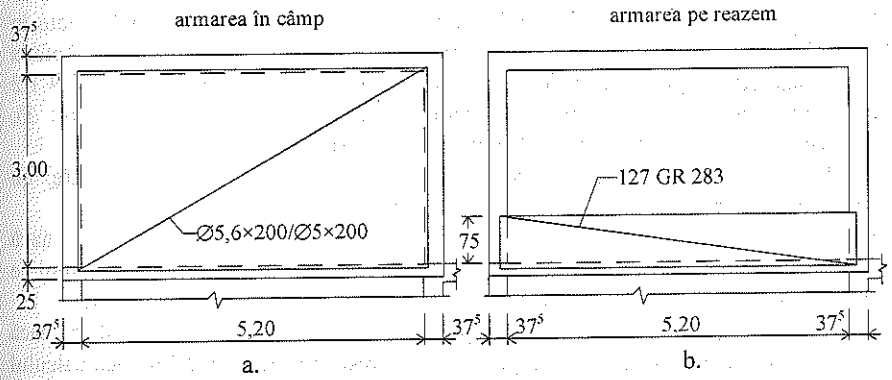


Fig. 3.29

4. CALCULUL PLĂCILOR MONOLITE CONTINUE ARMATE PE DOUĂ DIRECȚII

4.1 Calculul în domeniul elastic

Determinarea eforturilor în secțiunile plăcilor monolite continue armate pe două direcții se poate efectua cu metoda rețelelor elastice sau alte metode mai exacte. Încărcările care pot alcătui mai multe scheme de încărcare se consideră cu schema de încărcare cea mai defavorabilă fiecărei secțiuni (schemele de încărcare prezentate în subcapitolul 2.1). La plăcile cu legături monolite pe contur calculate prin metoda rețelelor elastice (în procedeele de calcul prezentate în subcapitolele 4.1.1 şi 4.1.2 această reducere este inclusă în coeficienții de calcul prezentați în capitolul 3), momentele încovoietoare maxime pot fi micşorate după cum urmează:

- cu 20% în toate câmpurile intermediare şi pe toate reazemele intermediare, cu excepția primului şi ultimului reazem intermediar;
- cu 20% în câmpurile de margine, pe primul şi ultimul reazem intermediar, dacă $l_x/l_y \le 1{,}5$ dacă calculul se efectuează pe direcția x, respectiv $l_y/l_x \le 1{,}5$ dacă calculul se efectuează pe direcția y, unde l_x şi l_y sunt laturile panoului marginal considerat;
- cu 10% în câmpurile de margine, pe primul şi ultimul reazem intermediar, dacă $1{,}5 < l_x/l_y \le 2{,}0$ şi calculul se efectuează pe direcția x, respectiv $1{,}5 < l_y/l_x \le 2{,}0$ dacă calculul se efectuează pe direcția y, unde l_x şi l_y sunt laturile panoului marginal considerat.

4.1.1 Plăci rezemate pe tot conturul ale căror deschideri nu diferă cu mai mult de 30% pe ambele direcții ($l_{xi} \ge 0{,}7 l_{xmax}$, $0{,}7 l_{yi} \ge l_{ymax}$) şi încărcările temporare (p) cu mai multe scheme de încărcare

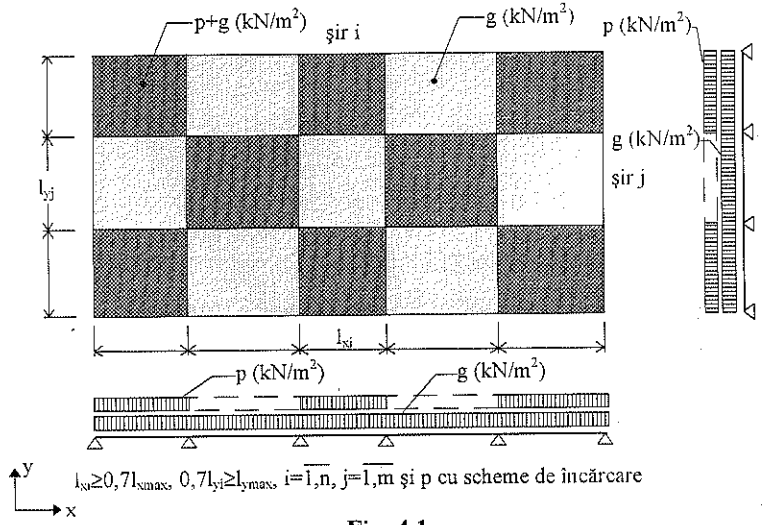


Fig. 4.1

$$q' = g + \frac{p}{2} \qquad (4.1)$$

$$q'' = \frac{p}{2}$$

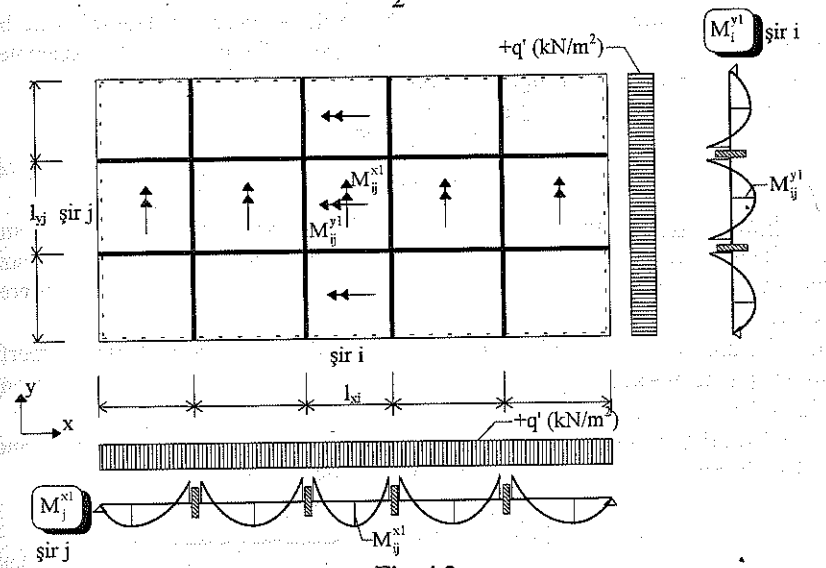


Fig. 4.2

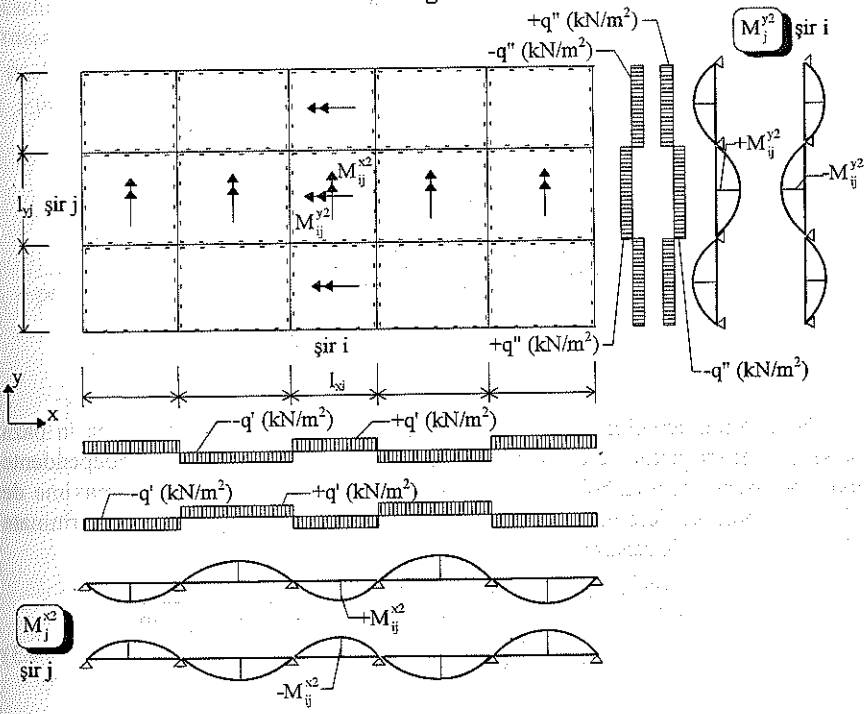


Fig. 4.3

scheme de încărcare şi rezemare:

- conturul planşeului se consideră simplu rezemat şi reazemele intermediare perfect încastrate, acţionate de sarcina convenţională +q' (fig. 4.2);
- conturul planşeului simplu rezemat şi reazemele intermediare simplu rezemate, încărcate cu sarcina convenţională ±q" (fig. 4.3).

Valorile momentelor pe cele două scheme de rezemare se determină pe baza prevederilor prezentate în paragraful 3.1.1 pentru panourile independente rezemate pe patru laturi (tabelele 3.1-3.6 şi figurile 3.2-3.7).

Momentele finale maxime şi minime în câmpuri sunt:

$$M_{ij}^{x(y)max} = M_{ij}^{x(y)1} + M_{ij}^{x(y)2}$$
$$M_{ij}^{x(y)min} = M_{ij}^{x(y)1} - M_{ij}^{x(y)2},\ i=\overline{1,n},\ j=\overline{1,m} \qquad (4.2)$$

Momentelor maxime pe reazeme se determină considerând fiecare reazem pe rând, utilizând aceleaşi încărcări convenţionale de calcul. Pentru fiecare reazem studiat, panourile adiacente reazemului au următoarele schemele de rezemare şi încărcare:

- conturul planşeului se consideră simplu rezemat şi reazemele intermediare perfect încastrate, panourile adiacente reazemului fiind încărcate cu sarcina convenţională +q' (fig. 4.4);
- reazemul studiat se consideră perfect încastrat şi celelalte reazeme simplu rezemate, panourile adiacente reazemului fiind încărcate cu sarcina +q" (fig. 4.5).

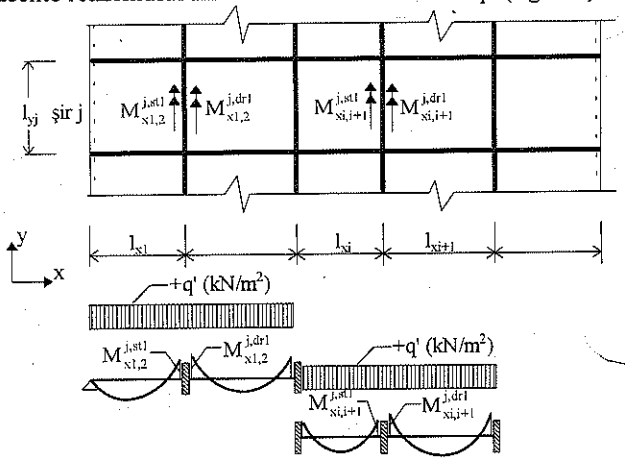


Fig. 4.4

Valorile momentelor pe cele două scheme de rezemare se determină în baza aceloraşi prevederi prezentate în paragraful 3.1.1 pentru panourile independente rezemate pe patru laturi (tabelele 3.1-3.6 şi figurile 3.2-3.7). Momentele maxime de calcul pe reazeme se determină ca semisuma momentelor încovoietoare determinate pe cele două scheme de rezemare:

$$M_{xi,i+1}^{j,max} = \frac{M_{xi,i+1}^{j,st1} + M_{xi,i+1}^{j,dr1} + M_{xi,i+1}^{j,st2} + M_{xi,i+1}^{j,dr2}}{2},\ i=\overline{1,n-1},\ j=\overline{1,m}$$
$$M_{yj,j+1}^{i,max} = \frac{M_{yj,j+1}^{i,st1} + M_{yj,j+1}^{i,dr1} + M_{yj,j+1}^{i,st2} + M_{yj,j+1}^{i,dr2}}{2},\ i=\overline{1,n},\ j=\overline{1,m-1} \qquad (4.3)$$

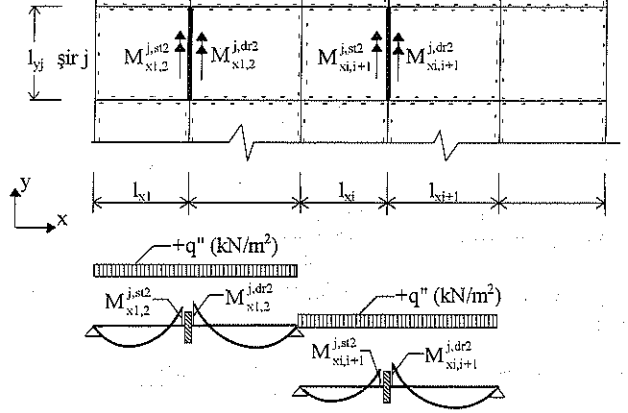


Fig. 4.5

4.1.2 Plăci rezemate pe tot conturul ale căror deschideri nu diferă cu mai mult de 10% pe ambele direcţii ($l_{xi} \geq 0{,}9 l_{xmax}$, $0{,}9 l_{yi} \geq l_{ymax}$) şi încărcările temporare (p) cu mai multe scheme de încărcare

Momentele maxime şi minime în câmpuri se determină analog ca în paragraful precedent. Momentele maxime pe reazemele intermediare se determină considerând o deschidere de calcul egală cu semisuma deschiderilor adiacente reazemului, după cum urmează:

- pentru un singur rând de plăci (fig. 4.6):
  - pe direcţia x, pe primul şi ultimul reazem intermediar:

$$M_{1,2}^{x1,max} = -\frac{1}{10}\beta_{31}(g+p)\left(\frac{l_{x1}+l_{x2}}{2}\right)^2$$
$$M_{n-1,n}^{x1,max} = -\frac{1}{10}\beta_{31}(g+p)\left(\frac{l_{xn-1}+l_{xn}}{2}\right)^2,\ n \geq 2 \qquad (4.4)$$

  - pe direcţia x, pe celelalte reazeme intermediare:

$$M_{i,i+1}^{x1,max} = -\frac{1}{12}\beta_{31}(g+p)\left(\frac{l_{xi}+l_{xi+1}}{2}\right)^2,\ i=\overline{2,n-2},\ n \geq 4 \qquad (4.5)$$

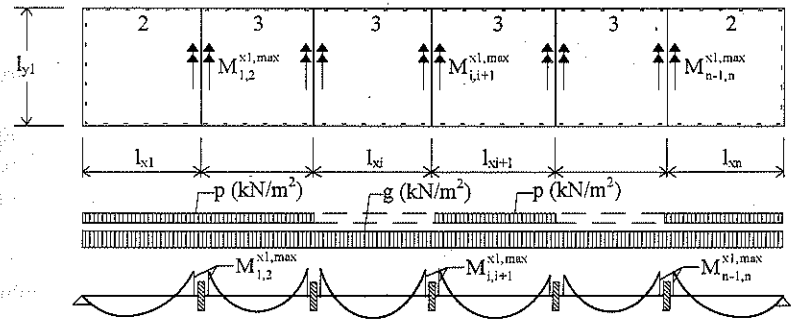


Fig. 4.6

• pentru două rânduri de plăci:

– pe direcția x, pe primele și ultimele reazeme intermediare:

$$M_{1,2}^{xj,max} = -\frac{1}{10}\beta_{51}(g+p)\left(\frac{l_{x1}+l_{x2}}{2}\right)^2$$

$$M_{n-1,n}^{xj,max} = -\frac{1}{10}\beta_{51}(g+p)\left(\frac{l_{xn-1}+l_{xn}}{2}\right)^2,\ j=1,2,\ n\geq 2 \qquad (4.6)$$

– pe direcția x, pe celelalte reazeme intermediare:

$$M_{i,i+1}^{xj,max} = -\frac{1}{12}\beta_{51}(g+p)\left(\frac{l_{xi}+l_{xi+1}}{2}\right)^2,\ i=\overline{2,n-2},\ j=1,2,\ n\geq 4 \qquad (4.7)$$

– pe direcția y, pe reazemele corespondente primului și ultimului șir de panouri de pe direcția x:

$$M_{1,2}^{yi,max} = -\frac{1}{8}\beta_{42}(g+p)\left(\frac{l_{y1}+l_{y2}}{2}\right)^2,\ i=1,n,\ n\geq 2 \qquad (4.8)$$

– pe direcția y, pe reazemele corespondente celorlalte șiruri de panouri de pe direcția x:

$$M_{1,2}^{yi,max} = -\frac{1}{8}\beta_{52}(g+p)\left(\frac{l_{y1}+l_{y2}}{2}\right)^2,\ i=\overline{2,n-1},\ n\geq 4 \qquad (4.9)$$

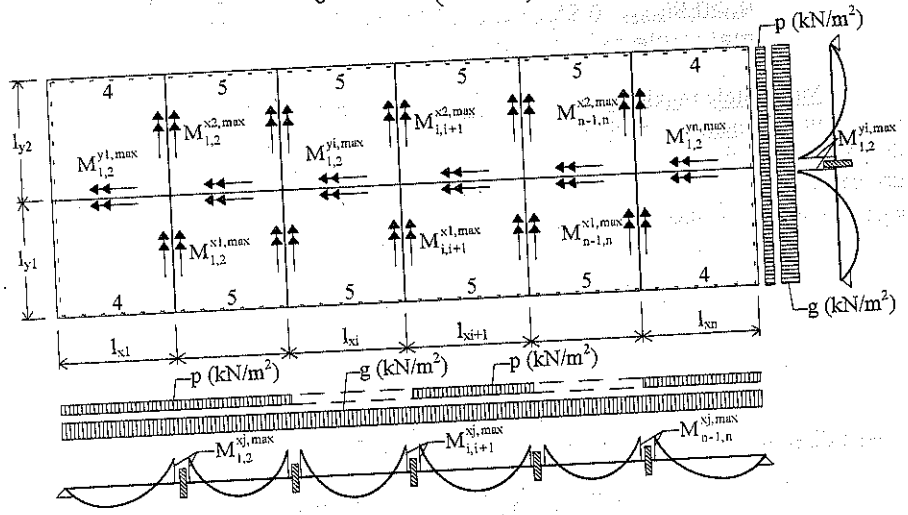


Fig. 4.7

• pentru trei rânduri de plăci (fig. 4.8):

– pe direcția x, pe primele și ultimele reazeme intermediare corespondente șirurilor 1 și 3 de pe direcția y:

$$M_{1,2}^{xj,max} = -\frac{1}{10}\beta_{51}(g+p)\left(\frac{l_{x1}+l_{x2}}{2}\right)^2$$

$$M_{n-1,n}^{xj,max} = -\frac{1}{10}\beta_{51}(g+p)\left(\frac{l_{xn-1}+l_{xn}}{2}\right)^2,\ j=1,3,\ n\geq 2 \qquad (4.10)$$

– pe direcția x, primele și ultimele reazeme intermediare corespondente șirului 2 de pe direcția y:

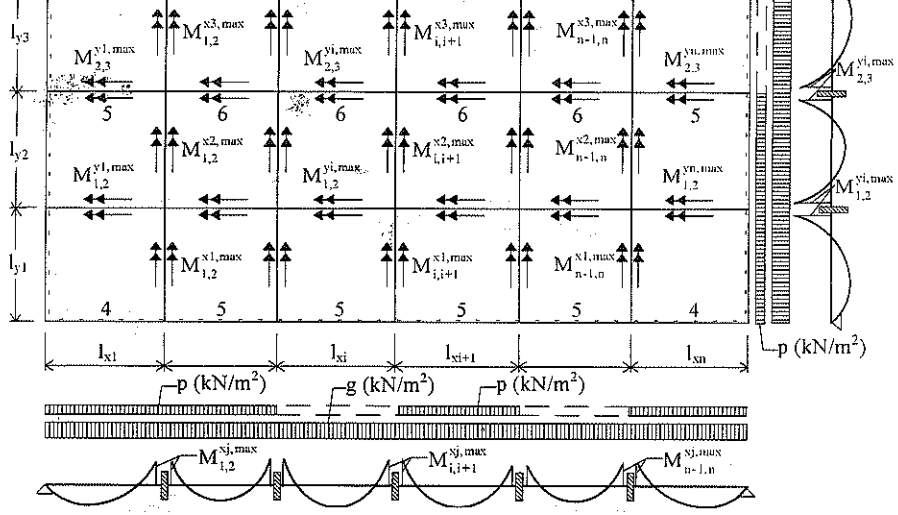


Fig. 4.8

– pe direcția x, pe celelalte reazeme intermediare corespondente șirurilor de panouri 1 și 3 de pe direcția y:

$$M_{1,2}^{x2,max} = -\frac{1}{10}\beta_{61}(g+p)\left(\frac{l_{x1}+l_{x2}}{2}\right)^2$$

$$M_{n-1,n}^{x2,max} = -\frac{1}{10}\beta_{61}(g+p)\left(\frac{l_{xn-1}+l_{xn}}{2}\right)^2,\ n\geq 2 \qquad (4.11)$$

– pe direcția x, pe celelalte reazeme intermediare corespondente șirului de panouri 2 de pe direcția y:

$$M_{i,i+1}^{xj,max} = -\frac{1}{12}\beta_{51}(g+p)\left(\frac{l_{xi}+l_{xi+1}}{2}\right)^2,\ i=\overline{2,n-2},\ j=1,3,\ n\geq 4 \qquad (4.12)$$

– pe direcția x, pe celelalte reazeme intermediare corespondente șirului de panouri 2 de pe direcția y:

$$M_{i,i+1}^{x2,max} = -\frac{1}{12}\beta_{61}(g+p)\left(\frac{l_{xi}+l_{xi+1}}{2}\right)^2,\ i=\overline{2,n-2},\ n\geq 4 \qquad (4.13)$$

– pe direcția y, pe reazemele corespondente primului și ultimului șir de panouri de pe direcția x:

$$M_{1,2}^{yi,max} = -\frac{1}{10}\beta_{52}(g+p)\left(\frac{l_{y1}+l_{y2}}{2}\right)^2$$

$$M_{2,3}^{yi,max} = -\frac{1}{10}\beta_{52}(g+p)\left(\frac{l_{y2}+l_{y3}}{2}\right)^2,\ i=1,n,\ n\geq 2 \qquad (4.14)$$

– pe direcția y, pe reazemele corespondente celorlalte șiruri de panouri de pe direcția x:

$$M_{1,2}^{yi,max} = -\frac{1}{10}\beta_{62}(g+p)\left(\frac{l_{y1}+l_{y2}}{2}\right)^2$$

$$M_{2,3}^{yi,max} = -\frac{1}{10}\beta_{62}(g+p)\left(\frac{l_{y2}+l_{y3}}{2}\right)^2,\ i=\overline{2,n-1},\ n\geq 4 \qquad (4.15)$$

fiecărui panou al plăcii şi schema de rezemare, după cum urmează:

- coeficientul β_{31} cu valorile din tabelul 3.3 (fig. 3.4);
- coeficientul β_{42} cu valorile din tabelul 3.4 (fig. 3.5);
- coeficienţii β_{51} şi β_{52} cu valorile date în tabelul 3.5 (fig. 3.6);
- coeficienţii β_{61} şi β_{62} cu valorile date în tabelul 3.6 (fig. 3.7).

4.2 Calculul static simplificat în domeniul plastic prin metoda echilibrului limită

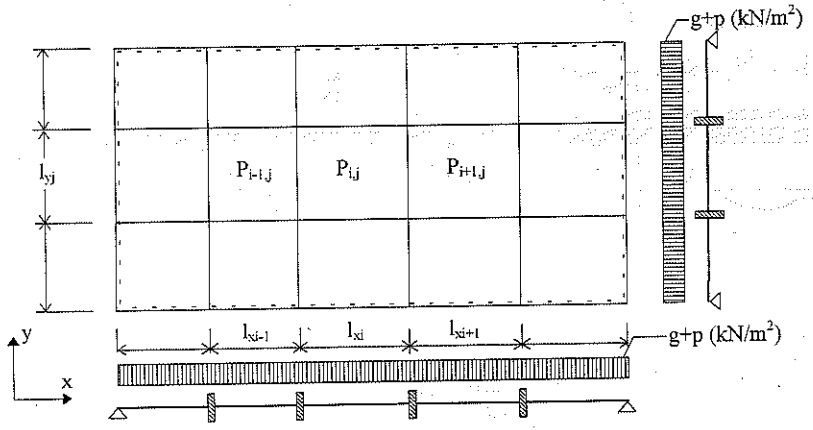


Fig. 4.9

Cunoscându-se geometria şi încărcarea totală de calcul g+p (kN/m^2) a plăcii continue (fig. 4.9), calculul se efectuează pentru fiecare panou al plăcii utilizând metoda echilibrului limită, prezentată în subcapitolul 3.2.

Izolând un prim panou al plăcii (fig. 4.10), de exemplu panoul $P_{i,j}$, calculul ariilor de armătură se efectuează considerând următoarele rapoarte între momentele încovoietoare:

- valorile raportului dintre momentele în câmp M_{ij}^x/M_{ij}^y se iau ca şi în cazul plăcilor independente, în funcţie de raportul $\lambda = l_{yj}/l_{xi}$, între limitele prezentate în tabelul 3.11;

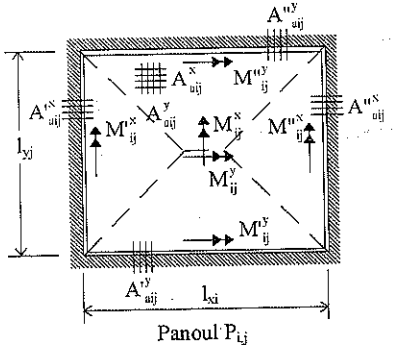


Fig. 4.10

- dacă deschiderile adiacente reazemului studiat diferă între ele cu 30% (de exemplu, $l_{xi-1}=0{,}7l_{xi}$ sau $0{,}7l_{xi-1}=l_{xi}$ pentru reazemul comun panourilor $P_{i-1,j}$ şi $P_{i,j}$), raportul M_{ij}^x/M''^x_{ij} se ia egal cu 0,8;
- dacă deschiderile adiacente reazemului studiat nu sunt egale şi diferă între ele cu mai puţin de 30% (de exemplu, $l_{xi-1}>0{,}7l_{xi}$ şi $0{,}7l_{xi-1}<l_{xi}$ pentru reazemul comun panourilor $P_{i-1,j}$ şi $P_{i,j}$), valorile raportului M_{ij}^x/M''^x_{ij} se stabilesc prin interpolare liniară între valorile 0,5 şi 0,8.

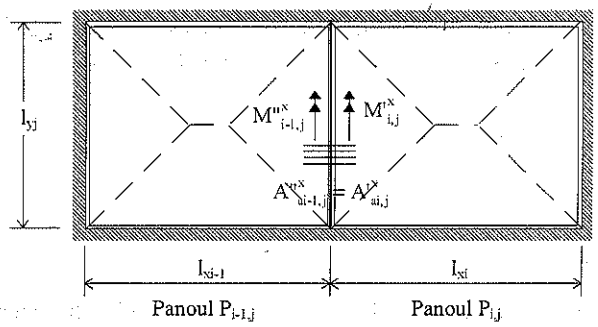


Fig. 4.11

Odată determinate momentele încovoietoare în câmpul şi pe reazemele panoului $P_{i,j}$, se determină în continuare ariile de armătură corespunzătoare lor cu relaţia simplificată (3.20) sau cu un algoritm de dimensionare a secţiunilor dreptunghiulare din beton simplu armate.

Cunoscând ariile de armătură de pe reazemele panoului $P_{i,j}$, se reia calculul pentru panourilor adiacente. De exemplu, pentru panoul $P_{i-1,j}$ (fig. 4.11), aria de armătură dispusă pe reazemul comun cu panoul $P_{i,j}$ va fi cunoscută, fiind calculată deja pentru $P_{i,j}$. Astfel, în calculul panoului $P_{i-1,j}$ momentul încovoietor pe acest reazem va fi $M'^x_{i-1,j} = M''^x_{i,j}$, pentru determinarea celorlalte momente încovoietoare procedându-se analog ca la panoul $P_{i,j}$. Calculul se efectuează până la determinarea ariilor de armătură în toate panourile plăcii.

4.3 Calculul static în domeniul plastic prin modificarea rezultatelor calculului static în domeniul elastic

Momentele de calcul pe reazeme se determină cu relaţii de aceeaşi formă cu cele din capitolele anterioare:

$$M_{i,i+1}^{xj} = k_p \cdot M_{i,i+1}^{xje,max},\ i=\overline{1,n-1},\ j=\overline{1,m}$$
$$M_{j,j+1}^{yi} = k_p \cdot M_{j,j+1}^{yie,max},\ i=\overline{1,n},\ j=\overline{1,m-1} \qquad (4.16)$$

în care:

$M_{i,i+1}^{xje,max}$, $M_{j,j+1}^{yie,max}$- momentele calculate în domeniul elastic pe reazemele plăcii, în conformitate cu prevederile subcapitolului 4.1;

k_p- coeficientul de adaptare plastică.

Valorile coeficientului de adaptare plastică k_p se calculează cu expresiile (2.15), respectând prevederile subcapitolului 2.4.

Determinarea momentelor încovoietoare în câmpul plăcii se face pe baza ecuației (3.12) a lucrului mecanic virtual, prin metoda echilibrului limită.

Momentele de calcul rezultate în câmp trebuie să fie cel puțin egale cu momentele elastice afectate de coeficientul de adaptare plastică:

$$M_{ij}^{x} \geq k_p \cdot M_{ije}^{xmax}$$
$$M_{ij}^{y} \geq k_p \cdot M_{ije}^{ymax},\ i=\overline{1,n},\ j=\overline{1,m} \qquad (4.17)$$

în care M_{ije}^{xmax}, M_{ije}^{ymax} sunt momentele încovoietoare în câmpul plăcii, calculate în domeniul elastic. Valorile rapoartelor $M_{ije}^{xmax}/M_{ije}^{ymax}$ se stabilesc ca în paragraful 3.2.2. Ariile de armătură corespondente momentelelor de calcul se determină cu metodele cunoscute.

4.4 Exemple de calcul

Exemplul 4.4.1

Să se proiecteze placa monolită a planşeului intermediar din figura 4.12, al unei clădiri administrative, pentru o valoarea de exploatare a sarcinii utile de 2,00 kN/m^2. Pardoseala este confecționată din parchet lamelar.

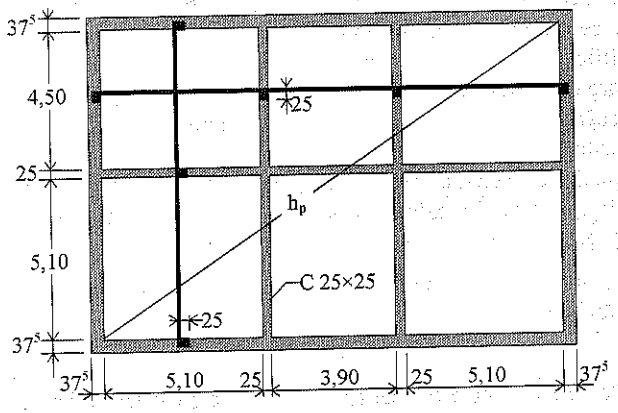


Fig. 4.12

Sistemul constructiv

• raportul maxim al deschiderilor unui panou de placă este l_{ymax}/l_{xmin}=5,10/3,90=1,31<2 şi placa reazemă pe pereți din zidărie prin intermediul unor centuri din beton armat:

$\Rightarrow$ placă continuă armată pe două direcții;

• grosimea minimă recomandată (p. 1.3.2):

$$h_{pmin} = \begin{cases} l_{xmax}/40 = 5.100/40 = 127,5 \text{ mm} \\ 60 \text{ mm} \end{cases};$$

• se adoptă h_p=140 mm.

Denumirea acțiunii	A^n (kN/m^2)	n^{II}	A^{III} (kN/m^2)	n	A (kN/m^2)
Acțiuni permanente					
- greutatea proprie a plăcii: 0,14m×25,0kN/m^3	3,50	1,0	3,50	1,1	3,85
- pardoseală parchet: 0,73kN/m^2	0,73	1,0	0,73	1,3	0,95
TOTAL	g^n=4,23		g^{III}=4,23		g=4,80
Acțiuni temporare					
- încărcarea utilă: 2,00kN/m^2	2,00	0,4	0,80	1,4	2,80
TOTAL	p^n=2,00		p^{III}=0,80		p=2,80

Schema statică (fig. 4.13). Deschideri de calcul

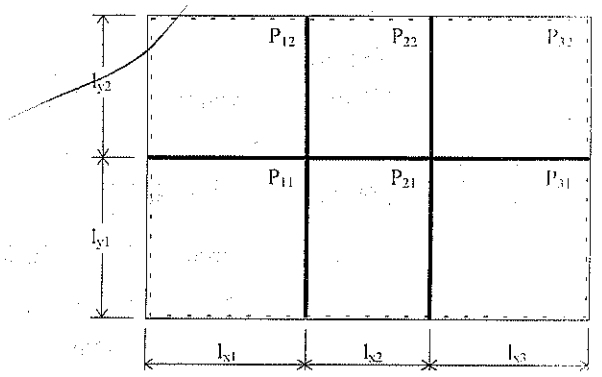


Fig. 4.13

• schema statică este de placă continuă armată pe două direcții cu înălțimea constantă de 140 mm, simplu rezemată pe contur;

• având în vedere monolitismul legăturilor, deschiderile de calcul sunt (p. 1.2.1):

l_{x1}=5,10 m l_{x2}=3,90 m l_{x3}=5,10 m

l_{y1}=5,10 m l_{y2}=4,50 m

Calculul static

• deoarece:

– rapoartele minime ale deschiderilor de calcul pe cele două direcții sunt $l_{xmin}/l_{xmax} = l_{x2}/l_{x1} = 3,90/5,10 = 0,76$ şi $l_{ymin}/l_{ymax} = l_{x2}/l_{x1} = 4,50/5,10 = 0,88$ rezultă că deschiderile de calcul nu diferă cu mai mult de 30% pe fiecare direcție;

– $v = q^{ld}/q^n = (4,23+0,80)/(4,23+2,00) = 0,81 > 0,75$;

– placa reazemă pe tot conturul;

– încărcarea temporară p prezintă mai multe scheme de încărcare;

calculul se va efectua în domeniul elastic, în conformitate cu prevederile menționate în paragraful 4.1.1;

• încărcările convenționale de calcul sunt:

$$q' = g + p/2 = 4,80 + 2,80/2 = 6,20 \text{ kN/m}$$
$$q'' = p/2 = 2,80/2 = 1,40 \text{ kN/m}$$

• momentele încovoietoare maxime şi minime în câmpuri se determină după cum urmează:

– pe schema de rezemare 1 (fig. 4.14), placa se consideră simplu rezemată pe contur şi cu reazemele intermediare încastrări perfecte, fiind acționată de sarcina +q';

– momentele în câmpuri pe schema de rezemare 1 au următoarele valori:

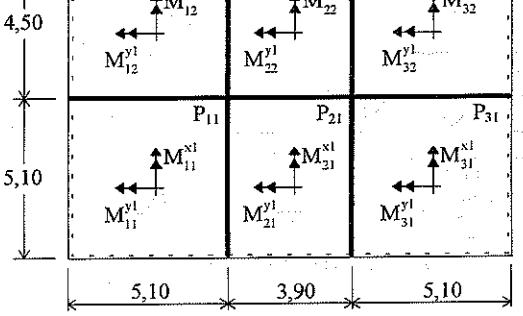


Fig. 4.14

Panoul P_{11} $\lambda = l_y/l_x = 5{,}10/5{,}10 = 1{,}00$, conform tab. 3.4 (fig. 3.5):

$$M_{11}^{x1} = \alpha_{41} \cdot q' \cdot l_{x1}^2 = 0{,}0269 \times 6{,}20 \times 5{,}10^2 = +4{,}34 \text{ kNm}$$
$$M_{11}^{y1} = \alpha_{42} \cdot q' \cdot l_{y1}^2 = 0{,}0269 \times 6{,}20 \times 5{,}10^2 = +4{,}34 \text{ kNm}$$

Panoul P_{21} $\lambda = l_y/l_x = 5{,}10/3{,}90 = 1{,}31$, conform tab. 3.5 (fig. 3.6.a):

$$M_{21}^{x1} = \alpha_{51} \cdot q' \cdot l_{x2}^2 = 0{,}0307 \times 6{,}20 \times 3{,}90^2 = +2{,}90 \text{ kNm}$$
$$M_{21}^{y1} = \alpha_{52} \cdot q' \cdot l_{y1}^2 = 0{,}0090 \times 6{,}20 \times 5{,}10^2 = +1{,}45 \text{ kNm}$$

Panoul P_{31} $\lambda = l_y/l_x = 5{,}10/5{,}10 = 1{,}00$, conform tab. 3.4 (fig. 3.5):

$$M_{31}^{x1} = \alpha_{41} \cdot q' \cdot l_{x3}^2 = 0{,}0269 \times 6{,}20 \times 5{,}10^2 = +4{,}34 \text{ kNm}$$
$$M_{31}^{y1} = \alpha_{42} \cdot q' \cdot l_{y1}^2 = 0{,}0269 \times 6{,}20 \times 5{,}10^2 = +4{,}34 \text{ kNm}$$

Panoul P_{12} $\lambda = l_y/l_x = 4{,}50/5{,}10 = 0{,}88$, conform tab. 3.4 (fig. 3.5):

$$M_{12}^{x1} = \alpha_{41} \cdot q' \cdot l_{x1}^2 = 0{,}0204 \times 6{,}20 \times 5{,}10^2 = +3{,}29 \text{ kNm}$$
$$M_{12}^{y1} = \alpha_{42} \cdot q' \cdot l_{y2}^2 = 0{,}0340 \times 6{,}20 \times 4{,}50^2 = +4{,}27 \text{ kNm}$$

Panoul P_{22} $\lambda = l_y/l_x = 4{,}50/3{,}90 = 1{,}15$, conform tab. 3.5 (fig. 3.6.a):

$$M_{22}^{x1} = \alpha_{51} \cdot q' \cdot l_{x2}^2 = 0{,}0271 \times 6{,}20 \times 3{,}90^2 = +2{,}56 \text{ kNm}$$
$$M_{22}^{y1} = \alpha_{52} \cdot q' \cdot l_{y2}^2 = 0{,}0136 \times 6{,}20 \times 4{,}50^2 = +1{,}71 \text{ kNm}$$

Panoul P_{32} $\lambda = l_y/l_x = 4{,}50/5{,}10 = 0{,}88$, conform tab. 3.4 (fig. 3.5):

$$M_{32}^{x1} = \alpha_{41} \cdot q' \cdot l_{x3}^2 = 0{,}0204 \times 6{,}20 \times 5{,}10^2 = +3{,}29 \text{ kNm}$$
$$M_{32}^{y1} = \alpha_{42} \cdot q' \cdot l_{y2}^2 = 0{,}0340 \times 6{,}20 \times 4{,}50^2 = +4{,}27 \text{ kNm}$$

– pe schema de rezemare 2 (fig. 4.15), toate panourile plăcii se consideră simplu rezemate şi acţionate de sarcina $\pm q''$;

– momentele în câmpuri pe schema de rezemare 2 au următoarele valori:

Panoul P_{11} $\lambda = l_y/l_x = 5{,}10/5{,}10 = 1{,}00$, conform tab. 3.1 (fig. 3.2):

$$M_{11}^{x2} = \alpha_{11} \cdot q'' \cdot l_{x1}^2 = 0{,}0365 \times 1{,}40 \times 5{,}10^2 = 1{,}33 \text{ kNm}$$
$$M_{11}^{y2} = \alpha_{12} \cdot q'' \cdot l_{y1}^2 = 0{,}0365 \times 1{,}40 \times 5{,}10^2 = 1{,}33 \text{ kNm}$$

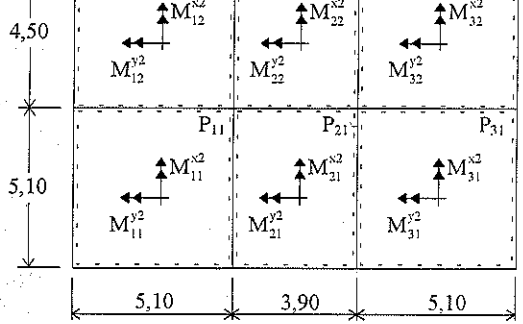


Fig. 4.15

Panoul P_{21} $\lambda = l_y/l_x = 5{,}10/3{,}90 = 1{,}31$, conform tab. 3.1 (fig. 3.2):

$$M_{21}^{x2} = \alpha_{11} \cdot q'' \cdot l_{x2}^2 = 0{,}0595 \times 1{,}40 \times 3{,}90^2 = 1{,}27 \text{ kNm}$$
$$M_{21}^{y2} = \alpha_{12} \cdot q'' \cdot l_{y1}^2 = 0{,}0203 \times 1{,}40 \times 5{,}10^2 = 0{,}74 \text{ kNm}$$

Panoul P_{31} $\lambda = l_y/l_x = 5{,}10/5{,}10 = 1{,}00$, conform tab. 3.1 (fig. 3.2):

$$M_{31}^{x2} = \alpha_{11} \cdot q'' \cdot l_{x3}^2 = 0{,}0365 \times 1{,}40 \times 5{,}10^2 = 1{,}33 \text{ kNm}$$
$$M_{31}^{y2} = \alpha_{12} \cdot q'' \cdot l_{y1}^2 = 0{,}0365 \times 1{,}40 \times 5{,}10^2 = 1{,}33 \text{ kNm}$$

Panoul P_{12} $\lambda = l_y/l_x = 4{,}50/5{,}10 = 0{,}88$, conform tab. 3.1 (fig. 3.2):

$$M_{12}^{x2} = \alpha_{11} \cdot q'' \cdot l_{x1}^2 = 0{,}0280 \times 1{,}40 \times 5{,}10^2 = 1{,}02 \text{ kNm}$$
$$M_{12}^{y2} = \alpha_{12} \cdot q'' \cdot l_{y2}^2 = 0{,}0465 \times 1{,}40 \times 4{,}50^2 = 1{,}32 \text{ kNm}$$

Panoul P_{22} $\lambda = l_y/l_x = 4{,}50/3{,}90 = 1{,}15$, conform tab. 3.1 (fig. 3.2):

$$M_{22}^{x2} = \alpha_{11} \cdot q'' \cdot l_{x2}^2 = 0{,}0477 \times 1{,}40 \times 3{,}90^2 = 1{,}02 \text{ kNm}$$
$$M_{22}^{y2} = \alpha_{12} \cdot q'' \cdot l_{y2}^2 = 0{,}0274 \times 1{,}40 \times 4{,}50^2 = 0{,}78 \text{ kNm}$$

Panoul P_{32} $\lambda = l_y/l_x = 4{,}50/5{,}10 = 0{,}88$, conform tab. 3.1 (fig. 3.2):

$$M_{32}^{x2} = \alpha_{11} \cdot q'' \cdot l_{x3}^2 = 0{,}0280 \times 1{,}40 \times 5{,}10^2 = 1{,}02 \text{ kNm}$$
$$M_{32}^{y2} = \alpha_{12} \cdot q'' \cdot l_{y2}^2 = 0{,}0465 \times 1{,}40 \times 4{,}50^2 = 1{,}32 \text{ kNm}$$

– momentele încovoietoare finale, maxime şi minime în câmpuri sunt:

Panoul P_{11}

$$\begin{cases} M_{11}^{x\max} = M_{11}^{x1} + M_{11}^{x2} = 4{,}34 + 1{,}33 = +5{,}67 \text{ kNm} \\ M_{11}^{x\min} = M_{11}^{x1} - M_{11}^{x2} = 4{,}34 - 1{,}33 = +3{,}01 \text{ kNm} > 0 \text{ kNm} \\ M_{11}^{y\max} = M_{11}^{y1} + M_{11}^{y2} = 4{,}34 + 1{,}33 = +5{,}67 \text{ kNm} \\ M_{11}^{y\min} = M_{11}^{y1} - M_{11}^{y2} = 4{,}34 - 1{,}33 = +3{,}01 \text{ kNm} > 0 \text{ kNm} \end{cases}$$

Panoul P_{21}

$$\begin{cases} M_{21}^{x\min} = M_{21}^{x1} - M_{21}^{x2} = 2{,}90 - 1{,}27 = +1{,}63 \text{ kNm} > 0 \text{ kNm} \\ M_{21}^{x\max} = M_{21}^{y1} + M_{21}^{y2} = 1{,}45 + 0{,}74 = +2{,}19 \text{ kNm} \\ M_{21}^{y\min} = M_{21}^{y1} - M_{21}^{y2} = 1{,}45 - 0{,}74 = +0{,}71 \text{ kNm} > 0 \text{ kNm} \end{cases}$$

Panoul P_{31}

$$\begin{cases} M_{31}^{x\max} = M_{31}^{x1} + M_{31}^{x2} = 4{,}34 + 1{,}33 = +5{,}67 \text{ kNm} \\ M_{31}^{x\min} = M_{31}^{x1} - M_{31}^{x2} = 4{,}34 - 1{,}33 = +3{,}01 \text{ kNm} > 0 \text{ kNm} \\ M_{31}^{y\max} = M_{31}^{y1} + M_{31}^{y2} = 4{,}34 + 1{,}33 = +5{,}67 \text{ kNm} \\ M_{31}^{y\min} = M_{31}^{y1} - M_{31}^{y2} = 4{,}34 - 1{,}33 = +3{,}01 \text{ kNm} > 0 \text{ kNm} \end{cases}$$

Panoul P_{12}

$$\begin{cases} M_{12}^{x\max} = M_{12}^{x1} + M_{12}^{x2} = 3{,}29 + 1{,}02 = +4{,}31 \text{ kNm} \\ M_{12}^{x\min} = M_{12}^{x1} - M_{12}^{x2} = 3{,}29 - 1{,}02 = +2{,}27 \text{ kNm} > 0 \text{ kNm} \\ M_{12}^{y\max} = M_{12}^{y1} + M_{12}^{y2} = 4{,}27 + 1{,}32 = +5{,}59 \text{ kNm} \\ M_{12}^{y\min} = M_{12}^{y1} - M_{12}^{y2} = 4{,}27 - 1{,}32 = +2{,}95 \text{ kNm} > 0 \text{ kNm} \end{cases}$$

Panoul P_{22}

$$\begin{cases} M_{22}^{x\max} = M_{22}^{x1} + M_{22}^{x2} = 2{,}56 + 1{,}02 = +3{,}58 \text{ kNm} \\ M_{22}^{x\min} = M_{22}^{x1} - M_{22}^{x2} = 2{,}56 - 1{,}02 = +1{,}54 \text{ kNm} > 0 \text{ kNm} \\ M_{22}^{y\max} = M_{22}^{y1} + M_{22}^{y2} = 1{,}71 + 0{,}78 = +2{,}49 \text{ kNm} \\ M_{22}^{y\min} = M_{22}^{y1} - M_{22}^{y2} = 1{,}71 - 0{,}78 = +0{,}92 \text{ kNm} > 0 \text{ kNm} \end{cases}$$

Panoul P_{32}

$$\begin{cases} M_{32}^{x\max} = M_{32}^{x1} + M_{32}^{x2} = 3{,}29 + 1{,}02 = +4{,}31 \text{ kNm} \\ M_{32}^{x\min} = M_{32}^{x1} - M_{32}^{x2} = 3{,}29 - 1{,}02 = +2{,}27 \text{ kNm} > 0 \text{ kNm} \\ M_{32}^{y\max} = M_{32}^{y1} + M_{32}^{y2} = 4{,}27 + 1{,}32 = +5{,}59 \text{ kNm} \\ M_{32}^{y\min} = M_{32}^{y1} - M_{32}^{y2} = 4{,}27 - 1{,}32 = +2{,}95 \text{ kNm} > 0 \text{ kNm} \end{cases}$$

• momentele încovoietoare maxime pe reazeme se determină pe următoarele scheme de rezemare şi încărcare:

– pe schemele de rezemare 1, placa se consideră simplu rezemată pe contur şi cu reazemele intermediare încastrări perfecte, fiind acţionată de încărcarea +q';

– momentele pe reazeme se calculează succesiv, astfel:

Reazemul $R_{1,2}^{y1}$

• panoul P_{11} $\lambda = l_y/l_x = 5{,}10/5{,}10 = 1{,}00$, conform tab. 3.4 (fig. 3.5):

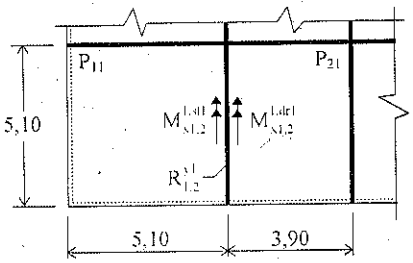
$q'_1 = \beta_{41} \cdot q' = 0{,}5000 \times 6{,}20 = 3{,}10$ kNm

$$M_{x1,2}^{1,st1} = -\frac{q'_1 \cdot l_{x1}^2}{8} = -\frac{3{,}10 \times 5{,}10^2}{8} = -10{,}08 \text{ kNm}$$

• panoul P_{21} $\lambda = l_y/l_x = 5{,}10/3{,}90 = 1{,}31$, conform tab. 3.5 (fig. 3.6.a)

$q'_1 = \beta_{51} \cdot q' = 0{,}8544 \times 6{,}20 = 5{,}30$ kNm

$$M_{x1,2}^{1,dr1} = -\frac{q'_1 \cdot l_{x2}^2}{12} = -\frac{5{,}30 \times 3{,}90^2}{12} = -6{,}72 \text{ kNm}$$



• panoul P_{21} $\lambda = l_y/l_x = 5{,}10/3{,}90 = 1{,}31$, conform tab. 3.5 (fig. 3.6.a):

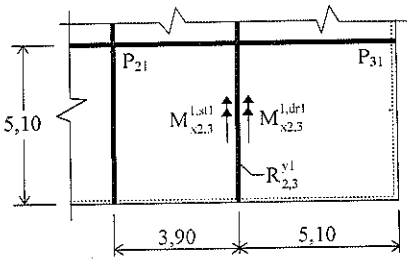
$q'_1 = \beta_{51} \cdot q' = 0{,}8544 \times 6{,}20 = 5{,}30$ kNm

$$M_{x2,3}^{1,st1} = -\frac{q'_1 \cdot l_{x2}^2}{12} = -\frac{5{,}30 \times 3{,}90^2}{12} = -6{,}72 \text{ kNm}$$

• panoul P_{31} $\lambda = l_y/l_x = 5{,}10/5{,}10 = 1{,}00$, conform tab. 3.4 (fig. 3.5):

$q'_1 = \beta_{41} \cdot q' = 0{,}5000 \times 6{,}20 = 3{,}10$ kNm

$$M_{x2,3}^{1,dr1} = -\frac{q'_1 \cdot l_{x3}^2}{8} = -\frac{3{,}10 \times 5{,}10^2}{8} = -10{,}08 \text{ kNm}$$



Reazemul $R_{1,2}^{y2}$

• panoul P_{12} $\lambda = l_y/l_x = 4{,}50/5{,}10 = 0{,}88$, conform tab. 3.4 (fig. 3.5):

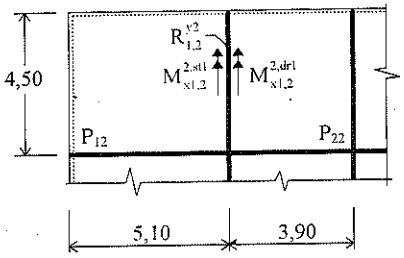
$q'_1 = \beta_{41} \cdot q' = 0{,}3749 \times 6{,}20 = 2{,}32$ kNm

$$M_{x1,2}^{2,st1} = -\frac{q'_1 \cdot l_{x1}^2}{8} = -\frac{2{,}32 \times 5{,}10^2}{8} = -7{,}54 \text{ kNm}$$

• panoul P_{22} $\lambda = l_y/l_x = 4{,}50/3{,}90 = 1{,}15$, conform tab. 3.5 (fig. 3.6.a):

$q'_1 = \beta_{51} \cdot q' = 0{,}7756 \times 6{,}20 = 4{,}81$ kNm

$$M_{x1,2}^{2,dr1} = -\frac{q'_1 \cdot l_{x2}^2}{12} = -\frac{4{,}81 \times 3{,}90^2}{12} = -6{,}10 \text{ kNm}$$



Reazemul $R_{2,3}^{y2}$

• panoul P_{22} $\lambda = l_y/l_x = 4{,}50/3{,}90 = 1{,}15$, conform tab. 3.5 (fig. 3.6.a):

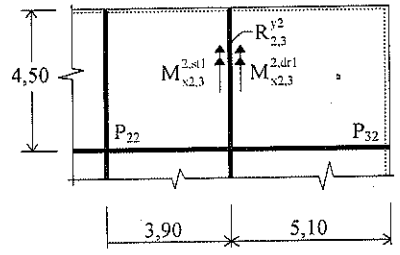
$q'_1 = \beta_{51} \cdot q' = 0{,}7756 \times 6{,}20 = 4{,}81$ kNm

$$M_{x2,3}^{2,st1} = -\frac{q'_1 \cdot l_{x2}^2}{12} = -\frac{4{,}81 \times 3{,}90^2}{12} = -6{,}10 \text{ kNm}$$

• panoul P_{32} $\lambda = l_y/l_x = 4{,}50/5{,}10 = 0{,}88$, conform tab. 3.4 (fig. 3.5):

$q'_1 = \beta_{41} \cdot q' = 0{,}3749 \times 6{,}20 = 2{,}32$ kNm

$$M_{x2,3}^{2,dr1} = -\frac{q'_1 \cdot l_{x3}^2}{8} = -\frac{2{,}32 \times 5{,}10^2}{8} = -7{,}54 \text{ kNm}$$



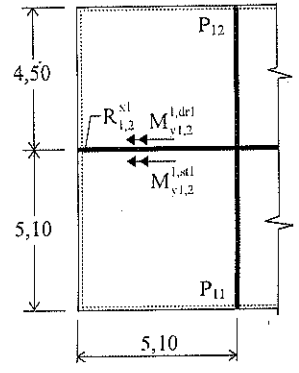
Reazemul $R_{1,2}^{x1}$

• panoul P_{11} $\lambda = l_y/l_x = 5{,}10/5{,}10 = 1{,}00$, conform tab. 3.4 (fig. 3.5):

$q'_2 = \beta_{42} \cdot q' = 0{,}5000 \times 6{,}20 = 3{,}10$ kNm

$$M_{y1,2}^{1,st1} = -\frac{q'_2 \cdot l_{y1}^2}{8} = -\frac{3{,}10 \times 5{,}10^2}{8} = -10{,}08 \text{ kNm}$$

• panoul P_{12} $\lambda = l_y/l_x = 4{,}50/5{,}10 = 0{,}88$, conform tab. 3.4 (fig. 3.5):



$$M^{1,dr1}_{y1,2} = -\frac{q'_2 \cdot l^2_{y2}}{8} = -\frac{3,88 \times 4,50^2}{8} = -9,82 \text{ kNm}$$

Reazemul $R^{x2}_{1,2}$

• panoul P_{21} $\lambda = l_y / l_x = 5,10/3,90 = 1,31$, conform tab. 3.5 (fig. 3.6.a):

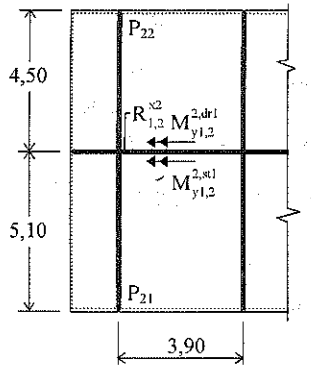
$q'_2 = \beta_{52} \cdot q' = 0,1456 \times 6,20 = 0,90$ kNm

$$M^{2,st1}_{y1,2} = -\frac{q'_2 \cdot l^2_{y1}}{8} = -\frac{0,90 \times 5,10^2}{8} = -2,93 \text{ kNm}$$

• panoul P_{22} $\lambda = l_y / l_x = 4,50/3,90 = 1,15$, conform tab. 3.5 (fig. 3.6.a):

$q'_2 = \beta_{52} \cdot q' = 0,2200 \times 6,20 = 1,36$ kNm

$$M^{2,dr1}_{y1,2} = -\frac{q'_2 \cdot l^2_{y2}}{8} = -\frac{1,36 \times 4,50^2}{8} = -3,44 \text{ kNm}$$



Reazemul $R^{x3}_{1,2}$

• panoul P_{31} $\lambda = l_y / l_x = 5,10/5,10 = 1,00$, conform tab. 3.4 (fig. 3.5):

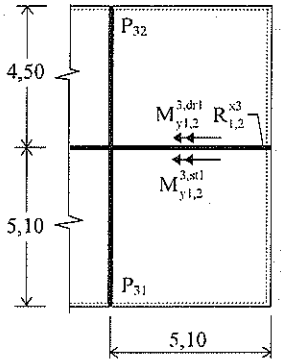
$q'_2 = \beta_{42} \cdot q' = 0,5000 \times 6,20 = 3,10$ kNm

$$M^{3,st1}_{y1,2} = -\frac{q'_2 \cdot l^2_{y1}}{8} = -\frac{3,10 \times 5,10^2}{8} = -10,08 \text{ kNm}$$

• panoul P_{32} $\lambda = l_y / l_x = 4,50/5,10 = 0,88$, conform tab. 3.4 (fig. 3.5):

$q'_2 = \beta_{42} \cdot q' = 0,6251 \times 6,20 = 3,88$ kNm

$$M^{3,dr1}_{y1,2} = -\frac{q'_2 \cdot l^2_{y2}}{8} = -\frac{3,88 \times 4,50^2}{8} = -9,82 \text{ kNm}$$



– pe schemele de rezemare 2, panourile de placă adiacente reazemului studiat se consideră perfect încastrate pe reazemul comun şi simplu rezemate pe celelalte laturi, fiind acționate de încărcarea +q";

– momentele pe reazeme se calculează astfel:

Reazemul $R^{y1}_{1,2}$

• panoul P_{11} $\lambda = l_y / l_x = 5,10/5,10 = 1,00$, conform tab. 3.2 (fig. 3.3.a):

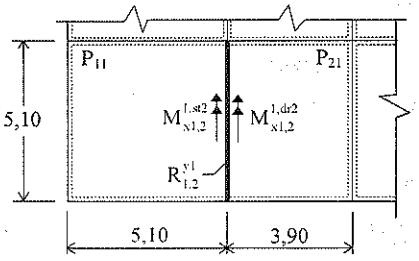
$q''_1 = \beta_{21} \cdot q'' = 0,7143 \times 1,40 = 1,00$ kNm

$$M^{1,st2}_{x1,2} = -\frac{q''_1 \cdot l^2_{x1}}{8} = -\frac{1,00 \times 5,10^2}{8} = -3,25 \text{ kNm}$$

• panoul P_{21} $\lambda = l_y / l_x = 5,10/3,90 = 1,31$, conform tab. 3.2 (fig. 3.3.a):

$q''_1 = \beta_{21} \cdot q'' = 0,8801 \times 1,40 = 1,23$ kNm

$$M^{1,dr2}_{x1,2} = -\frac{q''_1 \cdot l^2_{x2}}{8} = -\frac{1,23 \times 3,90^2}{8} = -2,34 \text{ kNm}$$



• panoul P_{21} $\lambda = l_y / l_x = 5,10/3,90 = 1,31$, conform tab. 3.2 (fig. 3.3.a):

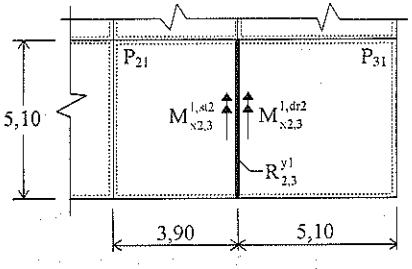
$q''_1 = \beta_{21} \cdot q'' = 0,8801 \times 1,40 = 1,23$ kNm

$$M^{1,st2}_{x2,3} = -\frac{q''_1 \cdot l^2_{x2}}{8} = -\frac{1,23 \times 3,90^2}{8} = -2,34 \text{ kNm}$$

• panoul P_{31} $\lambda = l_y / l_x = 5,10/5,10 = 1,00$, conform tab. 3.2 (fig. 3.3.a):

$q''_1 = \beta_{21} \cdot q'' = 0,7143 \times 1,40 = 1,00$ kNm

$$M^{1,dr2}_{x2,3} = -\frac{q''_1 \cdot l^2_{x3}}{8} = -\frac{1,00 \times 5,10^2}{8} = -3,25 \text{ kNm}$$



Reazemul $R^{y2}_{1,2}$

• panoul P_{12} $\lambda = l_y / l_x = 4,50/5,10 = 0,88$, conform tab. 3.2 (fig. 3.3.a):

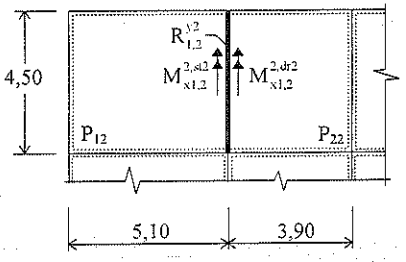
$q''_1 = \beta_{21} \cdot q'' = 0,5661 \times 1,40 = 0,79$ kNm

$$M^{2,st2}_{x1,2} = -\frac{q''_1 \cdot l^2_{x1}}{8} = -\frac{0,79 \times 5,10^2}{8} = -2,57 \text{ kNm}$$

• panoul P_{22} $\lambda = l_y / l_x = 4,50/3,90 = 1,15$, conform tab. 3.2 (fig. 3.3.a):

$q''_1 = \beta_{21} \cdot q'' = 0,8119 \times 1,40 = 1,14$ kNm

$$M^{2,dr2}_{x1,2} = -\frac{q''_1 \cdot l^2_{x2}}{8} = -\frac{1,14 \times 3,90^2}{8} = -2,17 \text{ kNm}$$



Reazemul $R^{y2}_{2,3}$

• panoul P_{22} $\lambda = l_y / l_x = 4,50/3,90 = 1,15$, conform tab. 3.2 (fig. 3.3.a):

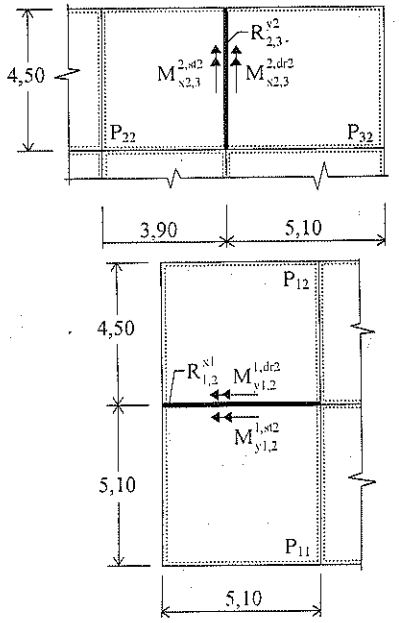
$q''_1 = \beta_{21} \cdot q'' = 0,8119 \times 1,40 = 1,14$ kNm

$$M^{2,st2}_{x2,3} = -\frac{q''_1 \cdot l^2_{x2}}{8} = -\frac{1,14 \times 3,90^2}{8} = -2,17 \text{ kNm}$$

• panoul P_{32} $\lambda = l_y / l_x = 4,50/5,10 = 0,88$, conform tab. 3.2 (fig. 3.3.a):

$q''_1 = \beta_{21} \cdot q'' = 0,5661 \times 1,40 = 0,79$ kNm

$$M^{2,dr2}_{x2,3} = -\frac{q''_1 \cdot l^2_{x3}}{8} = -\frac{0,79 \times 5,10^2}{8} = -2,57 \text{ kNm}$$



Reazemul $R^{x1}_{1,2}$

• panoul P_{11} $\lambda' = l_x / l_y = 5,10/5,10 = 1,00$, conform tab. 3.2 (fig. 3.3.b):

$q''_2 = \beta_{22} \cdot q'' = 0,7143 \times 1,40 = 1,00$ kNm

$$M^{1,st2}_{y1,2} = -\frac{q''_2 \cdot l^2_{y1}}{8} = -\frac{1,00 \times 5,10^2}{8} = -3,25 \text{ kNm}$$

• panoul P_{12} $\lambda' = l_x / l_y = 5,10/4,50 = 1,13$, conform tab. 3.2 (fig. 3.3.b):

$$M^{1,dr2}_{y1,2} = -\frac{q''_2 \cdot l^2_{y2}}{8} = -\frac{1{,}12 \times 4{,}50^2}{8} = -2{,}84 \text{ kNm}$$

Reazemul $R^{x2}_{1,2}$

- panoul P_{21} $\lambda' = l_x/l_y = 3{,}90/5{,}10 = 0{,}76$, conform tab. 3.2 (fig. 3.3.b):

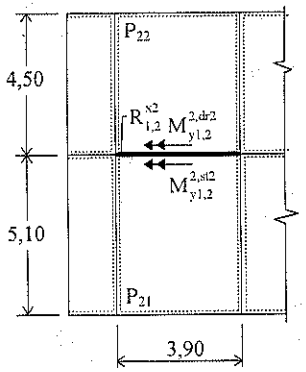
$q''_2 = \beta_{22} \cdot q'' = 0{,}4545 \times 1{,}40 = 0{,}64$ kNm

$$M^{2,st2}_{y1,2} = -\frac{q''_2 \cdot l^2_{y1}}{8} = -\frac{0{,}64 \times 5{,}10^2}{8} = -2{,}08 \text{ kNm}$$

- panoul P_{22} $\lambda' = l_x/l_y = 3{,}90/4{,}50 = 0{,}87$, conform tab. 3.5 (fig. 3.6.a):

$q''_2 = \beta_{22} \cdot q'' = 0{,}5881 \times 1{,}40 = 0{,}82$ kNm

$$M^{2,dr2}_{y1,2} = -\frac{q''_2 \cdot l^2_{y2}}{8} = -\frac{0{,}82 \times 4{,}50^2}{8} = -2{,}08 \text{ kNm}$$



Reazemul $R^{x3}_{1,2}$

- panoul P_{31} $\lambda' = l_x/l_y = 5{,}10/5{,}10 = 1{,}00$, conform tab. 3.2 (fig. 3.3.b):

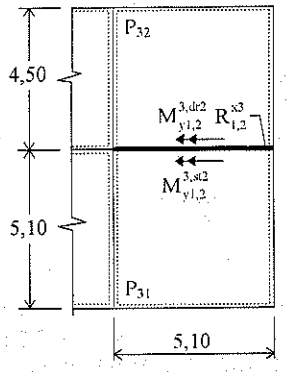
$q''_2 = \beta_{22} \cdot q'' = 0{,}7143 \times 1{,}40 = 1{,}00$ kNm

$$M^{3,st2}_{y1,2} = -\frac{q''_2 \cdot l^2_{y1}}{8} = -\frac{1{,}00 \times 5{,}10^2}{8} = -3{,}25 \text{ kNm}$$

- panoul P_{32} $\lambda' = l_x/l_y = 5{,}10/4{,}50 = 1{,}13$, conform tab. 3.2 (fig. 3.3.b):

$q''_2 = \beta_{22} \cdot q'' = 0{,}8013 \times 1{,}40 = 1{,}12$ kNm

$$M^{3,dr2}_{y1,2} = -\frac{q''_2 \cdot l^2_{y2}}{8} = -\frac{1{,}12 \times 4{,}50^2}{8} = -2{,}84 \text{ kNm}$$



– momentele încovoietoare maxime pe reazeme sunt:

Reazemul $R^{y1}_{1,2}$

$$M^{1}_{x1,2} = \frac{M^{1,st1}_{x1,2} + M^{1,dr1}_{x1,2} + M^{1,st2}_{x1,2} + M^{1,dr2}_{x1,2}}{2} = \frac{-10{,}08 - 6{,}72 - 3{,}25 - 2{,}34}{2} = -11{,}20 \text{ kNm}$$

Reazemul $R^{y1}_{2,3}$

$$M^{1}_{x2,3} = \frac{M^{1,st1}_{x2,3} + M^{1,dr1}_{x2,3} + M^{1,st2}_{x2,3} + M^{1,dr2}_{x2,3}}{2} = \frac{-6{,}72 - 10{,}08 - 2{,}34 - 3{,}25}{2} = -11{,}20 \text{ kNm}$$

Reazemul $R^{y2}_{1,2}$

$$M^{2}_{x1,2} = \frac{M^{2,st1}_{x1,2} + M^{2,dr1}_{x1,2} + M^{2,st2}_{x1,2} + M^{2,dr2}_{x1,2}}{2} = \frac{-7{,}54 - 6{,}10 - 2{,}57 - 2{,}17}{2} = -9{,}19 \text{ kNm}$$

Reazemul $R^{y2}_{2,3}$

$$M^{2}_{x2,3} = \frac{M^{2,st1}_{x2,3} + M^{2,dr1}_{x2,3} + M^{2,st2}_{x2,3} + M^{2,dr2}_{x2,3}}{2} = \frac{-6{,}10 - 7{,}54 - 2{,}57 - 2{,}17}{2} = -9{,}19 \text{ kNm}$$

$$M^{1}_{y1,2} = \frac{M^{1,st1}_{y1,2} + M^{1,dr1}_{y1,2} + M^{1,st2}_{y1,2} + M^{1,dr2}_{y1,2}}{2} = \frac{-10{,}08 - 9{,}82 - 3{,}25 - 2{,}84}{2} = -13{,}00 \text{ kNm}$$

Reazemul $R^{x2}_{1,2}$

$$M^{2}_{y1,2} = \frac{M^{2,st1}_{y1,2} + M^{2,dr1}_{y1,2} + M^{2,st2}_{y1,2} + M^{2,dr2}_{y1,2}}{2} = \frac{-2{,}93 - 3{,}44 - 2{,}08 - 2{,}08}{2} = -5{,}27 \text{ kNm}$$

Reazemul $R^{x3}_{1,2}$

$$M^{3}_{y1,2} = \frac{M^{3,st1}_{y1,2} + M^{3,dr1}_{y1,2} + M^{3,st2}_{y1,2} + M^{3,dr2}_{y1,2}}{2} = \frac{-10{,}08 - 9{,}82 - 3{,}25 - 2{,}84}{2} = -13{,}00 \text{ kNm}$$

Dimensionarea

Materiale

- beton Bc 15, cu $R_{ck} = 12{,}50$ MPa, $R_{tk} = 1{,}19$ MPa (anexa II, tab. II.1):
  - $R^*_c = 9{,}50$ MPa, $m_{bc}=1{,}0$, $R^*_t = 1{,}19$ MPa, $m_{bt}=1{,}0$ (anexa II, tab. II.1):

$$R_c = m_{bc} \cdot R^*_c = 1{,}0 \times 9{,}50 = 9{,}50 \text{ MPa}$$

$$R_t = m_{bt} \cdot R^*_t = 1{,}0 \times 0{,}80 = 0{,}80 \text{ MPa}$$

- oțel STNB, cu $R_{ak} = 440$ MPa (anexa II, tab. II.2):
  - $R^*_a = 370$ MPa, $m_a=1{,}0$ (anexa II, tab. II.2):

$$R_a = m_a \cdot R^*_a = 1{,}0 \times 370 = 370 \text{ MPa}$$

Mărimi geometrice ale secțiunii

- pentru plăci din categoria I-a din punctul de vedere al condițiilor de expunere:

$$a \geq \begin{cases} 10 \text{ mm (p.1.3.1, tab. 1.1)} \\ 1{,}2 d_{max} \cong 1{,}2 \times 6{,}5 = 7{,}8 \text{ mm (p.1.3.1)} \end{cases} \Rightarrow a = 15 \text{ mm}$$

Armarea panourilor în câmp

Panoul P_{11}

- direcția x

$h_{0x} = h - a - d_x/2 = 140 - 15 - 5/2 = 122{,}5$ mm

$$m^x_{11} = \frac{M^{xmax}_{11}}{b \cdot h^2_{0x} \cdot R_c} = \frac{5{,}67 \times 10^6}{1.000 \times 122{,}5^2 \times 9{,}50} = 0{,}0398 < m_b = 0{,}4$$

$$\Rightarrow p^c_x = p_x = 0{,}104\% > 0{,}100\%$$

$$A_{ax} = \frac{p_x}{100} b \cdot h_{0x} = \frac{0{,}104}{100} \times 1.000 \times 122{,}5 = 128 \text{ mm}^2$$

- direcția y

$h_{0y} = h - a - d_x - d_y/2 = 140 - 15 - 5 - 5/2 = 117{,}5$ mm

$$m^y_{11} = \frac{M^{ymax}_{11}}{b \cdot h^2_{0y} \cdot R_c} = \frac{5{,}67 \times 10^6}{1.000 \times 117{,}5^2 \times 9{,}50} = 0{,}0432 < m_b = 0{,}4$$

$$\Rightarrow p^c_y = p_y = 0{,}114\% > 0{,}100\%$$

$$A_{ay} = \frac{p_y}{100} b \cdot h_{0y} = \frac{0{,}114}{100} \times 1.000 \times 117{,}5 = 133 \text{ mm}^2$$

Se adoptă plasă sudată ∅5/150×∅5/150 cu $A_{ax}=A_{ay}=131$ mm^2.

• direcția x

$h_{0x} = h - a - d_x/2 = 140 - 15 - 5/2 = 122{,}5$ mm

$$m_{21}^x = \frac{M_{21}^{xmax}}{b \cdot h_{0x}^2 \cdot R_c} = \frac{4{,}17 \times 10^6}{1.000 \times 122{,}5^2 \times 9{,}50} = 0{,}0293 < m_b = 0{,}4$$

$$\Rightarrow 0{,}045\% < p_x^c = 0{,}076\% < 0{,}085\%$$

$$\Rightarrow p_x = p_{xmin} = 1{,}15 p_x^c = 1{,}15 \times 0{,}076\% = 0{,}087\%$$

$$A_{ax} = \frac{p_x}{100} b \cdot h_{0x} = \frac{0{,}087}{100} \times 1.000 \times 122{,}5 = 107 \text{ mm}^2$$

• direcția y

$h_{0y} = h - a - d_x - d_y/2 = 140 - 15 - 5 - 5/2 = 117{,}5$ mm

$$m_{21}^y = \frac{M_{21}^{ymax}}{b \cdot h_{0y}^2 \cdot R_c} = \frac{2{,}19 \times 10^6}{1.000 \times 117{,}5^2 \times 9{,}50} = 0{,}0167 < m_b = 0{,}4$$

$$\Rightarrow p_y^c = 0{,}043\% < 0{,}045\%$$

$$\Rightarrow p_y = p_{ymin} = 0{,}050\%$$

$$A_{ay} = \frac{p_y}{100} b \cdot h_{0y} = \frac{0{,}050}{100} \times 1.000 \times 117{,}5 = 59 \text{ mm}^2$$

Se adoptă plasă sudată Ø5/150×Ø5/300 cu A_{ax}=131 mm² şi A_{ay}=66 mm².

Panoul P_{31}

• direcția x

$h_{0x} = h - a - d_x/2 = 140 - 15 - 5/2 = 122{,}5$ mm

$$m_{31}^x = \frac{M_{31}^{xmax}}{b \cdot h_{0x}^2 \cdot R_c} = \frac{5{,}67 \times 10^6}{1.000 \times 122{,}5^2 \times 9{,}50} = 0{,}0398 < m_b = 0{,}4$$

$$\Rightarrow p_x^c = p_x = 0{,}104\% > 0{,}100\%$$

$$A_{ax} = \frac{p_x}{100} b \cdot h_{0x} = \frac{0{,}104}{100} \times 1.000 \times 122{,}5 = 128 \text{ mm}^2$$

• direcția y

$h_{0y} = h - a - d_x - d_y/2 = 140 - 15 - 5 - 5/2 = 117{,}5$ mm

$$m_{31}^y = \frac{M_{31}^{ymax}}{b \cdot h_{0y}^2 \cdot R_c} = \frac{5{,}67 \times 10^6}{1.000 \times 117{,}5^2 \times 9{,}50} = 0{,}0432 < m_b = 0{,}4$$

$$\Rightarrow p_y^c = p_y = 0{,}114\% > 0{,}100\%$$

$$A_{ay} = \frac{p_y}{100} b \cdot h_{0y} = \frac{0{,}114}{100} \times 1.000 \times 117{,}5 = 133 \text{ mm}^2$$

Se adoptă plasă sudată Ø5/150×Ø5/150 cu A_{ax}=A_{ay}=131 mm².

Panoul P_{12}

• direcția x

$h_{0x} = h - a - d_x/2 = 140 - 15 - 5/2 = 122{,}5$ mm

$$m_{12}^x = \frac{M_{12}^{xmax}}{b \cdot h_{0x}^2 \cdot R_c} = \frac{4{,}31 \times 10^6}{1.000 \times 122{,}5^2 \times 9{,}50} = 0{,}0302 < m_b = 0{,}4$$

$$\Rightarrow 0{,}045\% < p_x^c = 0{,}079\% < 0{,}085\%$$

$$A_{ax} = \frac{p_x}{100} b \cdot h_{0x} = \frac{0{,}091}{100} \times 1.000 \times 122{,}5 = 111 \text{ mm}^2$$

• direcția y

$h_{0y} = h - a - d_x - d_y/2 = 140 - 15 - 5 - 5/2 = 117{,}5$ mm

$$m_{12}^y = \frac{M_{12}^{ymax}}{b \cdot h_{0y}^2 \cdot R_c} = \frac{5{,}59 \times 10^6}{1.000 \times 117{,}5^2 \times 9{,}50} = 0{,}0426 < m_b = 0{,}4$$

$$\Rightarrow p_y^c = p_y = 0{,}112\% > 0{,}100\%$$

$$A_{ay} = \frac{p_y}{100} b \cdot h_{0y} = \frac{0{,}112}{100} \times 1.000 \times 117{,}5 = 131 \text{ mm}^2$$

Se adoptă plasă sudată Ø5/150×Ø5/150 cu A_{ax}=A_{ay}=131 mm².

Panoul P_{22}

• direcția x

$h_{0x} = h - a - d_x/2 = 140 - 15 - 5/2 = 122{,}5$ mm

$$m_{22}^x = \frac{M_{22}^{xmax}}{b \cdot h_{0x}^2 \cdot R_c} = \frac{3{,}58 \times 10^6}{1.000 \times 122{,}5^2 \times 9{,}50} = 0{,}0251 < m_b = 0{,}4$$

$$\Rightarrow 0{,}045\% < p_x^c = 0{,}065\% < 0{,}085\%$$

$$\Rightarrow p_x = p_{xmin} = 1{,}15 p_x^c = 1{,}15 \times 0{,}065\% = 0{,}075\%$$

$$A_{ax} = \frac{p_x}{100} b \cdot h_{0x} = \frac{0{,}075}{100} \times 1.000 \times 122{,}5 = 92 \text{ mm}^2$$

• direcția y

$h_{0y} = h - a - d_x - d_y/2 = 140 - 15 - 5 - 5/2 = 117{,}5$ mm

$$m_{22}^y = \frac{M_{22}^{ymax}}{b \cdot h_{0y}^2 \cdot R_c} = \frac{2{,}49 \times 10^6}{1.000 \times 117{,}5^2 \times 9{,}50} = 0{,}0190 < m_b = 0{,}4$$

$$\Rightarrow 0{,}045\% < p_y^c = 0{,}049\% < 0{,}085\%$$

$$\Rightarrow p_y = p_{ymin} = 1{,}15 p_y^c = 1{,}15 \times 0{,}049\% = 0{,}056\%$$

$$A_{ay} = \frac{p_y}{100} b \cdot h_{0y} = \frac{0{,}056}{100} \times 1.000 \times 117{,}5 = 66 \text{ mm}^2$$

Se adoptă plasă sudată Ø5/200×Ø5/300 cu A_{ax}= 98 mm² şi A_{ay}=66.

Panoul P_{32}

• direcția x

$h_{0x} = h - a - d_x/2 = 140 - 15 - 5/2 = 122{,}5$ mm

$$m_{32}^x = \frac{M_{32}^{xmax}}{b \cdot h_{0x}^2 \cdot R_c} = \frac{4{,}31 \times 10^6}{1.000 \times 122{,}5^2 \times 9{,}50} = 0{,}0302 < m_b = 0{,}4$$

$$\Rightarrow 0{,}045\% < p_x^c = 0{,}079\% < 0{,}085\%$$

$$\Rightarrow p_x = p_{xmin} = 1{,}15 p_x^c = 1{,}15 \times 0{,}079\% = 0{,}091\%$$

$$A_{ax} = \frac{p_x}{100} b \cdot h_{0x} = \frac{0{,}091}{100} \times 1.000 \times 122{,}5 = 111 \text{ mm}^2$$

• direcția y

$h_{0y} = h - a - d_x - d_y/2 = 140 - 15 - 5 - 5/2 = 117{,}5$ mm

$$\Rightarrow p_y^c = p_y = 0{,}112\% > 0{,}100\%$$

$$A_{ay} = \frac{p_y}{100} b \cdot h_{0y} = \frac{0{,}112}{100} \times 1.000 \times 117{,}5 = 131 \text{ mm}^2$$

Se adoptă plasă sudată Ø5/150×Ø5/150 cu A_{ax}=A_{ay}=131 mm^2.

Armarea reazemelor

Reazemul $R_{1,2}^{y1}$

$h_{0x} = h - a - d_x/2 = 140 - 15 - 6/2 = 122{,}0$ mm

$$m_{x1,2}^1 = \frac{M_{x1,2}^1}{b \cdot h_{0x}^2 \cdot R_c} = \frac{11{,}20 \times 10^6}{1.000 \times 122{,}0^2 \times 9{,}50} = 0{,}0792 < m_b = 0{,}4$$

$$\Rightarrow p_x^c = p_x = 0{,}212\% > 0{,}100\%$$

$$A_{ax} = \frac{p_x}{100} b \cdot h_{0x} = \frac{0{,}212}{100} \times 1.000 \times 122{,}0 = 259 \text{ mm}^2$$

Se adoptă plasă sudată Ø6/100×Ø4/300 cu A_{ax}=283 mm^2.

Reazemul $R_{2,3}^{y1}$

$h_{0x} = h - a - d_x/2 = 140 - 15 - 5/2 = 122{,}0$ mm

$$m_{x2,3}^1 = \frac{M_{x2,3}^1}{b \cdot h_{0x}^2 \cdot R_c} = \frac{11{,}20 \times 10^6}{1.000 \times 122{,}0^2 \times 9{,}50} = 0{,}0792 < m_b = 0{,}4$$

$$\Rightarrow p_x^c = p_x = 0{,}212\% > 0{,}100\%$$

$$A_{ax} = \frac{p_x}{100} b \cdot h_{0x} = \frac{0{,}212}{100} \times 1.000 \times 122{,}0 = 259 \text{ mm}^2$$

Se adoptă plasă sudată Ø6/100×Ø4/300 cu A_{ax}=283 mm^2.

Reazemul $R_{1,2}^{y2}$

$h_{0x} = h - a - d_x/2 = 140 - 15 - 5{,}6/2 = 122{,}2$ mm

$$m_{x1,2}^2 = \frac{M_{x1,2}^2}{b \cdot h_{0x}^2 \cdot R_c} = \frac{9{,}19 \times 10^6}{1.000 \times 122{,}2^2 \times 9{,}50} = 0{,}0648 < m_b = 0{,}4$$

$$\Rightarrow p_x^c = p_x = 0{,}172\% > 0{,}100\%$$

$$A_{ax} = \frac{p_x}{100} b \cdot h_{0x} = \frac{0{,}172}{100} \times 1.000 \times 122{,}2 = 210 \text{ mm}^2$$

Se adoptă plasă sudată Ø5,6/100×Ø4/300 cu A_{ax}=246 mm^2.

Reazemul $R_{2,3}^{y2}$

$h_{0x} = h - a - d_x/2 = 140 - 15 - 5{,}6/2 = 122{,}2$ mm

$$m_{x2,3}^2 = \frac{M_{x2,3}^2}{b \cdot h_{0x}^2 \cdot R_c} = \frac{9{,}19 \times 10^6}{1.000 \times 122{,}2^2 \times 9{,}50} = 0{,}0648 < m_b = 0{,}4$$

$$\Rightarrow p_x^c = p_x = 0{,}172\% > 0{,}100\%$$

Se adoptă plasă sudată Ø5,6/100×Ø4/300 cu A_{ax}=246 mm^2.

Reazemul $R_{1,2}^{x1}$

$h_{0y} = h - a - d_y/2 = 140 - 15 - 6{,}5/2 = 121{,}75$ mm

$$m_{y1,2}^1 = \frac{M_{y1,2}^1}{b \cdot h_{0y}^2 \cdot R_c} = \frac{13{,}00 \times 10^6}{1.000 \times 121{,}75^2 \times 9{,}50} = 0{,}0923 < m_b = 0{,}4$$

$$\Rightarrow p_y^c = p_y = 0{,}249\% > 0{,}100\%$$

$$A_{ay} = \frac{p_y}{100} b \cdot h_{0y} = \frac{0{,}249}{100} \times 1.000 \times 121{,}75 = 303 \text{ mm}^2$$

Se adoptă plasă sudată Ø6,5/100×Ø4/300 cu A_{ay}=332 mm^2.

Reazemul $R_{1,2}^{x2}$

$h_{0y} = h - a - d_y/2 = 140 - 15 - 5/2 = 122{,}5$ mm

$$m_{y1,2}^2 = \frac{M_{y1,2}^2}{b \cdot h_{0y}^2 \cdot R_c} = \frac{5{,}27 \times 10^6}{1.000 \times 122{,}5^2 \times 9{,}50} = 0{,}0370 < m_b = 0{,}4$$

$$\Rightarrow 0{,}085\% < p_y^c = 0{,}097\% < 0{,}100\%$$

$$\Rightarrow p_y = p_{ymin} = 0{,}100\%$$

$$A_{ay} = \frac{p_y}{100} b \cdot h_{0y} = \frac{0{,}100}{100} \times 1.000 \times 122{,}5 = 123 \text{ mm}^2$$

Se adoptă plasă sudată Ø5/150×Ø4/300 cu A_{ay}=131 mm^2.

Reazemul $R_{1,2}^{x3}$

$h_{0y} = h - a - d_y/2 = 140 - 15 - 6{,}5/2 = 121{,}75$ mm

$$m_{y1,2}^3 = \frac{M_{y1,2}^3}{b \cdot h_{0y}^2 \cdot R_c} = \frac{13{,}00 \times 10^6}{1.000 \times 121{,}75^2 \times 9{,}50} = 0{,}0923 < m_b = 0{,}4$$

$$\Rightarrow p_y^c = p_y = 0{,}249\% > 0{,}100\%$$

$$A_{ay} = \frac{p_y}{100} b \cdot h_{0y} = \frac{0{,}249}{100} \times 1.000 \times 121{,}75 = 303 \text{ mm}^2$$

Se adoptă plasă sudată Ø6,5/100×Ø4/300 cu A_{ay}=332 mm^2.

Schița de armare (fig. 4.16, fig. 4.17)

Armarea în câmpuri (la fața inferioară a planșeului) cu plase sudate netipizate este prezentată în figura 4.16. Dispunerea plaselor sudate se face în conformitate cu înălțimile utile considerate la dimensionare, respectiv cu stratul de acoperire cu beton minim pe direcția x. Plasele sudate au următoarele simboluri:

- panoul P_{11}: PS_1 Ø5/150×Ø5/150;
- panoul P_{21}: PS_2 Ø5/150×Ø5/300;
- panoul P_{31}: PS_1 Ø5/150×Ø5/150;
- panoul P_{12}: PS_1 Ø5/150×Ø5/150;
- panoul P_{22}: PS_3 Ø5/200×Ø5/300;
- panoul P_{32}: PS_1 Ø5/150×Ø5/150.

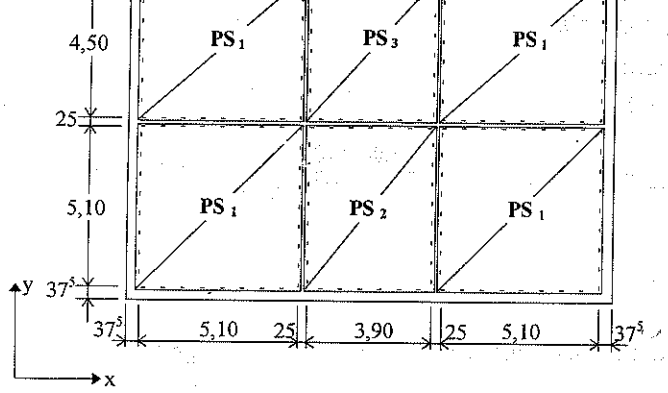


Fig. 4.16

Armarea reazemelor (pentru preluarea momentelor negative) cu plase sudate netipizate este prezentată în figura 4.17. Plasele sudate au următoarele simboluri:

- reazemele $R^{y1}_{1,2}$, $R^{y1}_{2,3}$: PS_4 Ø6/100×Ø4/300;
- reazemele $R^{y2}_{1,2}$, $R^{y2}_{2,3}$: PS_4 Ø5,6/100×Ø4/300;
- reazemele $R^{x1}_{1,2}$, $R^{x3}_{1,2}$: PS_5 Ø6,5/100×Ø4/300;
- reazemul $R^{x2}_{1,2}$: PS_6 Ø5/150×Ø4/300.

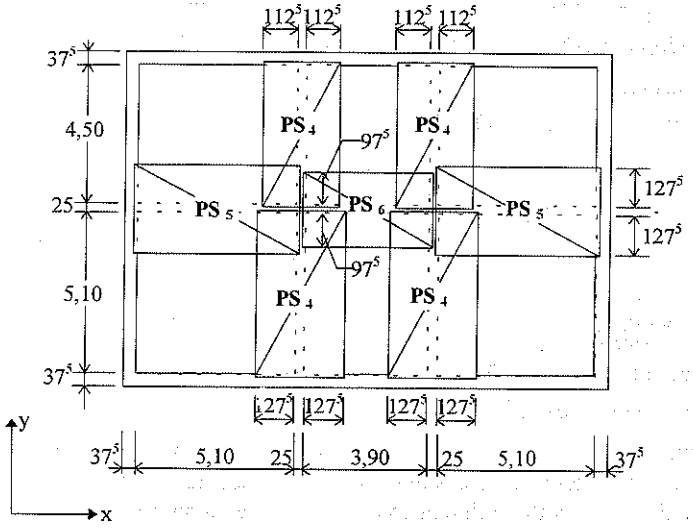


Fig. 4.17

Exemplul 4.4.2

Să se proiecteze placa planşeului intermediar pentru un motel, alcătuită ca în figura 4.18. Pardoseala este confecționată din covor PVC, iar sarcina utilă are valoarea de exploatare egală cu 1,50 kN/m^2.

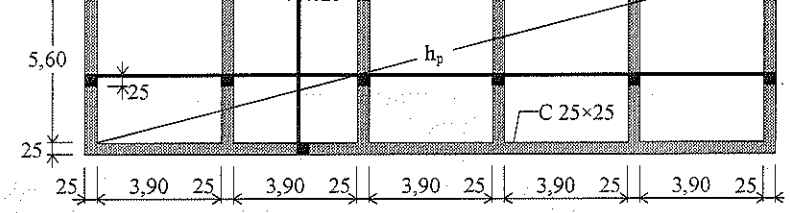


Fig. 4.18

Sistemul constructiv

- raportul maxim al deschiderilor unui panou de placă este l_{ymax}/l_{xmin}=5,60/3,90=1,44<2; placa reazemă pe pereți din zidărie prin intermediul unor centuri din beton armat:

$$\Rightarrow \text{placă continuă armată pe două direcții;}$$

- grosimea minimă recomandată (p. 1.3.2):

$$h_{pmin} = \begin{cases} l_{xmax}/40 = 3.900/40 = 97{,}5 \text{ mm} \\ 60 \text{ mm} \end{cases};$$

- se adoptă h_p=100 mm.

Acțiuni

Denumirea acțiunii	A^n (kN/m^2)	n^d	A^{ld} (kN/m^2)	n	A (kN/m^2)
Acțiuni permanente					
- greutatea proprie a plăcii: 0,10m×25,0kN/m^3	2,50	1,0	2,50	1,1	2,75
- pardoseală PVC: 0,75kN/m^2×1,0m	0,75	1,0	0,75	1,3	0,83
TOTAL	g^n=3,25		g^{ld}=3,25		g=3,58
Acțiuni temporare					
- încărcarea utilă: 1,50kN/m^2	1,50	0,4	0,60	1,4	2,10
TOTAL	p^n=1,50		p^{ld}=0,60		p=2,10

Schema statică (fig. 4.19). Deschideri de calcul

- schema statică este de placă continuă armată pe două direcții cu înălțimea constantă de 100 mm, simplu rezemată pe contur;
- având în vedere monolitismul legăturilor, deschiderile de calcul sunt (p. 1.2.1):

$$l_{x1}=l_{x2}=l_{x3}=l_{x4}=l_{x5}=3{,}90 \text{ m}$$
$$l_{y1}=5{,}60 \text{ m}$$

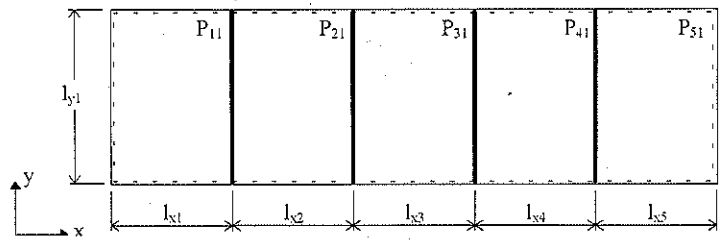


Fig. 4.19

Calculul static

- deoarece:
  - deschiderile de calcul pe direcția x sunt egale iar pe direcția y există o singură

– $v = q^{ld}/q^{n} = (3{,}25+0{,}60)/(3{,}25+1{,}50) = 0{,}81 > 0{,}75$;

– placa reazemă pe tot conturul;

– încărcarea temporară p prezintă mai multe scheme de încărcare;

calculul se va efectua în domeniul elastic în conformitate cu prevederile paragrafului 4.1.2, corespunzătoare plăcilor cu un singur şir de panouri;

• momentele maxime şi minime în câmpuri se vor calcula potrivit metodologiei de calcul prezentată în paragraful 4.1.1, utilizând următoarele încărcări convenţionale:

$$q' = g + p/2 = 3{,}58 + \frac{2{,}10}{2} = 4{,}63 \text{ kN/m}^2$$

$$q'' = p/2 = \frac{2{,}10}{2} = 1{,}05 \text{ kN/m}^2$$

– pe schema de rezemare 1 (fig. 4.20), placa se consideră simplu rezemată pe contur şi cu reazemele intermediare încastrări perfecte, fiind acţionată de încărcarea convenţională q';

– momentele în câmpuri sunt:

Panoul P_{11} $\lambda = l_y/l_x = 5{,}60/3{,}90 = 1{,}44$, conform tab. 3.2 (fig. 3.3.a):

$$M_{11}^{x1} = \alpha_{21} \cdot q' \cdot l_{x1}^2 = 0{,}0510 \times 4{,}63 \times 3{,}90^2 = +3{,}59 \text{ kNm}$$

$$M_{11}^{y1} = \alpha_{22} \cdot q' \cdot l_{y1}^2 = 0{,}0092 \times 4{,}63 \times 5{,}60^2 = +1{,}34 \text{ kNm}$$

Panoul P_{21} $\lambda = l_y/l_x = 5{,}60/3{,}90 = 1{,}44$, conform tab. 3.3 (fig. 3.4.a):

$$M_{21}^{x1} = \alpha_{31} \cdot q' \cdot l_{x2}^2 = 0{,}0339 \times 4{,}63 \times 3{,}90^2 = +2{,}39 \text{ kNm}$$

$$M_{21}^{y1} = \alpha_{32} \cdot q' \cdot l_{y1}^2 = 0{,}0052 \times 4{,}63 \times 5{,}60^2 = +0{,}76 \text{ kNm}$$

Panoul P_{31} $\lambda = l_y/l_x = 5{,}60/3{,}90 = 1{,}44$, conform tab. 3.3 (fig. 3.4.a):

$$M_{31}^{x1} = \alpha_{31} \cdot q' \cdot l_{x3}^2 = 0{,}0339 \times 4{,}63 \times 3{,}90^2 = +2{,}39 \text{ kNm}$$

$$M_{31}^{y1} = \alpha_{32} \cdot q' \cdot l_{y1}^2 = 0{,}0052 \times 4{,}63 \times 5{,}60^2 = +0{,}76 \text{ kNm}$$

Panoul P_{41} $\lambda = l_y/l_x = 5{,}60/3{,}90 = 1{,}44$, conform tab. 3.3 (fig. 3.4.a):

$$M_{41}^{x1} = \alpha_{31} \cdot q' \cdot l_{x4}^2 = 0{,}0339 \times 4{,}63 \times 3{,}90^2 = +2{,}39 \text{ kNm}$$

$$M_{41}^{y1} = \alpha_{32} \cdot q' \cdot l_{y1}^2 = 0{,}0052 \times 4{,}63 \times 5{,}60^2 = +0{,}76 \text{ kNm}$$

Panoul P_{51} $\lambda = l_y/l_x = 5{,}60/3{,}90 = 1{,}44$, conform tab. 3.2 (fig. 3.3.a):

$$M_{51}^{x1} = \alpha_{21} \cdot q' \cdot l_{x5}^2 = 0{,}0510 \times 4{,}63 \times 3{,}90^2 = +3{,}59 \text{ kNm}$$

$$M_{51}^{y1} = \alpha_{22} \cdot q' \cdot l_{y1}^2 = 0{,}0092 \times 4{,}63 \times 5{,}60^2 = +1{,}34 \text{ kNm}$$

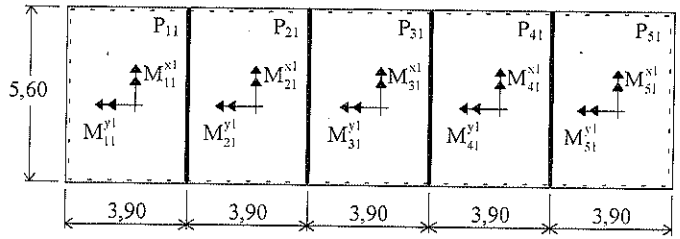


Fig. 4.20

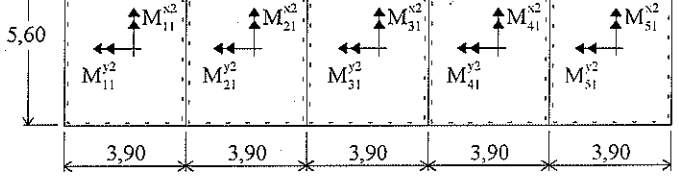


Fig. 4.21

– pe schema de rezemare 2 (fig. 4.21), panourile plăcii se consideră simplu rezemate pe contur, acţionate de sarcina ±q";

– valorile momentelor încovoietoare sunt:

Panoul P_{11} $\lambda = l_y/l_x = 5{,}60/3{,}90 = 1{,}44$, conform tab. 3.1 (fig. 3.2):

$$M_{11}^{x2} = \alpha_{11} \cdot q' \cdot l_{x1}^2 = 0{,}0683 \times 1{,}05 \times 3{,}90^2 = 1{,}09 \text{ kNm}$$

$$M_{11}^{y2} = \alpha_{12} \cdot q' \cdot l_{y1}^2 = 0{,}0159 \times 1{,}05 \times 5{,}60^2 = 0{,}52 \text{ kNm}$$

Panoul P_{21} $\lambda = l_y/l_x = 5{,}60/3{,}90 = 1{,}44$, conform tab. 3.1 (fig. 3.2):

$$M_{21}^{x2} = \alpha_{11} \cdot q' \cdot l_{x2}^2 = 0{,}0683 \times 1{,}05 \times 3{,}90^2 = 1{,}09 \text{ kNm}$$

$$M_{21}^{y2} = \alpha_{12} \cdot q' \cdot l_{y1}^2 = 0{,}0159 \times 1{,}05 \times 5{,}60^2 = 0{,}52 \text{ kNm}$$

Panoul P_{31} $\lambda = l_y/l_x = 5{,}60/3{,}90 = 1{,}44$, conform tab. 3.1 (fig. 3.2):

$$M_{31}^{x2} = \alpha_{11} \cdot q' \cdot l_{x3}^2 = 0{,}0683 \times 1{,}05 \times 3{,}90^2 = 1{,}09 \text{ kNm}$$

$$M_{31}^{y2} = \alpha_{12} \cdot q' \cdot l_{y1}^2 = 0{,}0159 \times 1{,}05 \times 5{,}60^2 = 0{,}52 \text{ kNm}$$

Panoul P_{41} $\lambda = l_y/l_x = 5{,}60/3{,}90 = 1{,}44$, conform tab. 3.1 (fig. 3.2):

$$M_{41}^{x2} = \alpha_{11} \cdot q' \cdot l_{x4}^2 = 0{,}0683 \times 1{,}05 \times 3{,}90^2 = 1{,}09 \text{ kNm}$$

$$M_{41}^{y2} = \alpha_{12} \cdot q' \cdot l_{y1}^2 = 0{,}0159 \times 1{,}05 \times 5{,}60^2 = 0{,}52 \text{ kNm}$$

Panoul P_{51} $\lambda = l_y/l_x = 5{,}60/3{,}90 = 1{,}44$, conform tab. 3.1 (fig. 3.2):

$$M_{51}^{x2} = \alpha_{11} \cdot q' \cdot l_{x5}^2 = 0{,}0683 \times 1{,}05 \times 3{,}90^2 = 1{,}09 \text{ kNm}$$

$$M_{51}^{y2} = \alpha_{12} \cdot q' \cdot l_{y1}^2 = 0{,}0159 \times 1{,}05 \times 5{,}60^2 = 0{,}52 \text{ kNm}$$

– momentele încovoietoare elastice maxime în câmpuri sunt:

Panoul P_{11}

$$\begin{cases} M_{11e}^{xmax} = M_{11}^{x1} + M_{11}^{x2} = 3{,}59 + 1{,}09 = +4{,}68 \text{ kNm} \\ M_{11e}^{ymax} = M_{11}^{y1} + M_{11}^{y2} = 1{,}34 + 0{,}52 = +1{,}86 \text{ kNm} \\ M_{11e}^{xmin} = M_{11}^{x1} - M_{11}^{x2} = 3{,}59 - 1{,}09 = +2{,}50 \text{ kNm} > 0 \text{ kNm} \\ M_{11e}^{ymin} = M_{11}^{y1} - M_{11}^{y2} = 1{,}34 - 0{,}52 = +0{,}82 \text{ kNm} > 0 \text{ kNm} \end{cases}$$

Panoul P_{21}

$$\begin{cases} M_{21e}^{xmax} = M_{21}^{x1} + M_{21}^{x2} = 2{,}39 + 1{,}09 = +3{,}48 \text{ kNm} \\ M_{21e}^{ymax} = M_{21}^{y1} + M_{21}^{y2} = 0{,}76 + 0{,}52 = +1{,}28 \text{ kNm} \\ M_{21e}^{xmin} = M_{21}^{x1} - M_{21}^{x2} = 2{,}39 - 1{,}09 = +1{,}30 \text{ kNm} > 0 \text{ kNm} \\ M_{21e}^{ymin} = M_{21}^{y1} - M_{21}^{y2} = 0{,}76 - 0{,}52 = +0{,}24 \text{ kNm} > 0 \text{ kNm} \end{cases}$$

Panoul P_{31}

$$\begin{cases} M_{31e}^{x\max} = M_{31}^{x1} + M_{31}^{x2} = 0,76 + 0,52 = +1,28 \text{ kNm} \\ M_{31e}^{x\min} = M_{31}^{x1} - M_{31}^{x2} = 2,39 - 1,09 = +1,30 \text{ kNm} > 0 \text{ kNm} \\ M_{31e}^{y\min} = M_{31}^{y1} - M_{31}^{y2} = 0,76 - 0,52 = +0,24 \text{ kNm} > 0 \text{ kNm} \end{cases}$$

Panoul P_{41}

$$\begin{cases} M_{41e}^{x\max} = M_{41}^{x1} + M_{41}^{x2} = 2,39 + 1,09 = +3,48 \text{ kNm} \\ M_{41e}^{y\max} = M_{41}^{y1} + M_{41}^{y2} = 0,76 + 0,52 = +1,28 \text{ kNm} \\ M_{41e}^{x\min} = M_{41}^{x1} - M_{41}^{x2} = 2,39 - 1,09 = +1,30 \text{ kNm} > 0 \text{ kNm} \\ M_{41e}^{y\min} = M_{41}^{y1} - M_{41}^{y2} = 0,76 - 0,52 = +0,24 \text{ kNm} > 0 \text{ kNm} \end{cases}$$

Panoul P_{51}

$$\begin{cases} M_{51e}^{x\max} = M_{51}^{x1} + M_{51}^{x2} = 3,59 + 1,09 = +4,68 \text{ kNm} \\ M_{51e}^{y\max} = M_{51}^{y1} + M_{51}^{y2} = 1,34 + 0,52 = +1,86 \text{ kNm} \\ M_{51e}^{x\min} = M_{51}^{x1} - M_{51}^{x2} = 3,59 - 1,09 = +2,50 \text{ kNm} > 0 \text{ kNm} \\ M_{51e}^{y\min} = M_{51}^{y1} - M_{51}^{y2} = 1,34 + 0,52 = +0,82 \text{ kNm} > 0 \text{ kNm} \end{cases}$$

• momentele pe reazemele intermediare se calculează cu relațiile (4.4) și (4.5) pentru valorile lui β_{31} extrase din tabelul 3.3 și raportul laturilor fiecărui panou:

$$M_{1,2}^{x1e,\max} = -\frac{1}{10}\beta_{31}(g+p)\left(\frac{l_{x1}+l_{x2}}{2}\right)^2 =$$

$$= -\frac{1}{10}\times 0,9551\times(3,58+2,17)\times\left(\frac{3,90+3,90}{2}\right)^2 = -8,35 \text{ kNm}$$

$$M_{2,3}^{x1e,\max} = -\frac{1}{12}\beta_{31}(g+p)\left(\frac{l_{x2}+l_{x3}}{2}\right)^2 =$$

$$= -\frac{1}{12}\times 0,9551\times(3,58+2,17)\times\left(\frac{3,90+3,90}{2}\right)^2 = -6,96 \text{ kNm}$$

$$M_{3,4}^{x1e,\max} = -\frac{1}{12}\beta_{31}(g+p)\left(\frac{l_{x3}+l_{x4}}{2}\right)^2 =$$

$$= -\frac{1}{12}\times 0,9551\times(3,58+2,17)\times\left(\frac{3,90+3,90}{2}\right)^2 = -6,96 \text{ kNm}$$

$$M_{4,5}^{x1e,\max} = -\frac{1}{10}\beta_{31}(g+p)\left(\frac{l_{x4}+l_{x5}}{2}\right)^2 =$$

$$= -\frac{1}{10}\times 0,9551\times(3,58+2,17)\times\left(\frac{3,90+3,90}{2}\right)^2 = -8,35 \text{ kNm}$$

Dimensionarea

Materiale

• beton Bc 15, cu $R_{ck} = 12,50$ MPa, $R_{tk} = 1,19$ MPa (anexa II, tab. II.1):
– $R_c^* = 9,50$ MPa, $m_{bc}=1,0$, $R_t^* = 1,19$ MPa, $m_{bt}=1,0$ (anexa II, tab. II.1):

$$R_c = m_{bc}\cdot R_c^* = 1,0\times 9,50 = 9,50 \text{ MPa}$$
$$R_t = m_{bt}\cdot R_t^* = 1,0\times 0,80 = 0,80 \text{ MPa}$$

– $R_a = 370$ MPa, $m_a = 1,0$ (anexa II, tab. II.2):

$$R_a = m_a\cdot R_a^* = 1,0\times 370 = 370 \text{ MPa}$$

Mărimi geometrice ale secțiunii

• pentru plăci din categoria I-a din punctul de vedere al condițiilor de expunere:

$$a \geq \begin{cases} 10 \text{ mm (p.1.3.1, tab. 1.1)} \\ 1,2d_{max} \equiv 1,2\times 6 = 7,2 \text{ mm (p.1.3.1)} \end{cases} \Rightarrow a = 10 \text{ mm}$$

Armarea panourilor în câmp

Panoul P_{11}

• direcția x

$$h_{0x} = h - a - d_x/2 = 100 - 10 - 5/2 = 87,5 \text{ mm}$$

$$m_{11}^x = \frac{M_{11}^x}{b\cdot h_{0x}^2\cdot R_c} = \frac{4,68\times 10^6}{1.000\times 87,5^2\times 9,50} = 0,0643 < m_b = 0,4$$

$$\Rightarrow p_x^c = p_x = 0,171\% > 0,100\%$$

$$A_{ax} = \frac{p_x}{100}b\cdot h_{0x} = \frac{0,171}{100}\times 1.000\times 87,5 = 150 \text{ mm}^2$$

• direcția y

$$h_{0y} = h - a - d_x - d_y/2 = 100 - 10 - 5 - 5/2 = 82,5 \text{ mm}$$

$$m_{11}^y = \frac{M_{11}^y}{b\cdot h_{0y}^2\cdot R_c} = \frac{1,86\times 10^6}{1.000\times 82,5^2\times 9,50} = 0,0288 < m_b = 0,4$$

$$\Rightarrow 0,045\% < p_y^c = 0,075\% < 0,085\%$$

$$\Rightarrow p_y = p_{ymin} = 1,15p_y^c = 1,15\times 0,075\% = 0,086\%$$

$$A_{ay} = \frac{p_y}{100}b\cdot h_{0y} = \frac{0,086}{100}\times 1.000\times 82,5 = 71 \text{ mm}^2$$

Se adoptă plasă sudată ∅5/100×∅5/200 cu A_{ax}=196 mm² și A_{ay}=98 mm².

Panoul P_{21}

• direcția x

$$h_{0x} = h - a - d_x/2 = 100 - 10 - 5/2 = 87,5 \text{ mm}$$

$$m_{21}^x = \frac{M_{21}^x}{b\cdot h_{0x}^2\cdot R_c} = \frac{3,48\times 10^6}{1.000\times 87,5^2\times 9,50} = 0,0478 < m_b = 0,4$$

$$\Rightarrow p_x^c = p_x = 0,126\% > 0,100\%$$

$$A_{ax} = \frac{p_x}{100}b\cdot h_{0x} = \frac{0,126}{100}\times 1.000\times 87,5 = 110 \text{ mm}^2$$

• direcția y

$$h_{0y} = h - a - d_x - d_y/2 = 100 - 10 - 5 - 5/2 = 82,5 \text{ mm}$$

$$m_{21}^y = \frac{M_{21}^y}{b\cdot h_{0y}^2\cdot R_c} = \frac{1,28\times 10^6}{1.000\times 82,5^2\times 9,50} = 0,0198 < m_b = 0,4$$

$$\Rightarrow 0,045\% < p_y^c = 0,051\% < 0,085\%$$

$$\Rightarrow p_y = p_{ymin} = 1,15p_y^c = 1,15\times 0,051\% = 0,059\%$$

Se adoptă plasă sudată ∅5/150×∅5/200 cu A_{ax}=131 mm² şi A_{ay}=98 mm².

Panoul P_{31}

• direcţia x

$h_{0x} = h - a - d_x/2 = 100 - 10 - 5/2 = 87{,}5$ mm

$$m_{31}^x = \frac{M_{31}^x}{b \cdot h_{0x}^2 \cdot R_c} = \frac{3{,}48 \times 10^6}{1.000 \times 87{,}5^2 \times 9{,}50} = 0{,}0478 < m_b = 0{,}4$$

$$\Rightarrow p_x^c = p_x = 0{,}126\% > 0{,}100\%$$

$$A_{ax} = \frac{p_x}{100} b \cdot h_{0x} = \frac{0{,}126}{100} \times 1.000 \times 87{,}5 = 110 \text{ mm}^2$$

• direcţia y

$h_{0y} = h - a - d_x - d_y/2 = 100 - 10 - 5 - 5/2 = 82{,}5$ mm

$$m_{31}^y = \frac{M_{31}^y}{b \cdot h_{0y}^2 \cdot R_c} = \frac{1{,}28 \times 10^6}{1.000 \times 82{,}5^2 \times 9{,}50} = 0{,}0198 < m_b = 0{,}4$$

$$\Rightarrow 0{,}045\% < p_y^c = 0{,}051\% < 0{,}085\%$$

$$\Rightarrow p_y = p_{ymin} = 1{,}15 p_y^c = 1{,}15 \times 0{,}051\% = 0{,}059\%$$

$$A_{ay} = \frac{p_y}{100} b \cdot h_{0y} = \frac{0{,}059}{100} \times 1.000 \times 82{,}5 = 49 \text{ mm}^2$$

Se adoptă plasă sudată ∅5/150×∅5/200 cu A_{ax}=131 mm² şi A_{ay}=98 mm².

Panoul P_{41}

• direcţia x

$h_{0x} = h - a - d_x/2 = 100 - 10 - 5/2 = 87{,}5$ mm

$$m_{41}^x = \frac{M_{41}^x}{b \cdot h_{0x}^2 \cdot R_c} = \frac{3{,}48 \times 10^6}{1.000 \times 87{,}5^2 \times 9{,}50} = 0{,}0478 < m_b = 0{,}4$$

$$\Rightarrow p_x^c = p_x = 0{,}126\% > 0{,}100\%$$

$$A_{ax} = \frac{p_x}{100} b \cdot h_{0x} = \frac{0{,}126}{100} \times 1.000 \times 87{,}5 = 110 \text{ mm}^2$$

• direcţia y

$h_{0y} = h - a - d_x - d_y/2 = 100 - 10 - 5 - 5/2 = 82{,}5$ mm

$$m_{41}^y = \frac{M_{41}^y}{b \cdot h_{0y}^2 \cdot R_c} = \frac{1{,}28 \times 10^6}{1.000 \times 82{,}5^2 \times 9{,}50} = 0{,}0198 < m_b = 0{,}4$$

$$\Rightarrow 0{,}045\% < p_y^c = 0{,}051\% < 0{,}085\%$$

$$\Rightarrow p_y = p_{ymin} = 1{,}15 p_y^c = 1{,}15 \times 0{,}051\% = 0{,}059\%$$

$$A_{ay} = \frac{p_y}{100} b \cdot h_{0y} = \frac{0{,}059}{100} \times 1.000 \times 82{,}5 = 49 \text{ mm}^2$$

Se adoptă plasă sudată ∅5/150×∅5/200 cu A_{ax}=131 mm² şi A_{ay}=98 mm².

Panoul P_{51}

• direcţia x

$h_{0x} = h - a - d_x/2 = 100 - 10 - 5/2 = 87{,}5$ mm

$$m_{51}^x = \frac{M_{51}^x}{b \cdot h_{0x}^2 \cdot R_c} = \frac{3{,}48 \times 10^6}{1.000 \times 87{,}5^2 \times 9{,}50} = 0{,}0643 < m_b = 0{,}4$$

$$\Rightarrow p_x^c = p_x = 0{,}171\% > 0{,}100\%$$

$$A_{ax} = \frac{p_x}{100} b \cdot h_{0x} = \frac{0{,}171}{100} \times 1.000 \times 87{,}5 = 150 \text{ mm}^2$$

• direcţia y

$h_{0y} = h - a - d_x - d_y/2 = 100 - 10 - 5 - 5/2 = 82{,}5$ mm

$$m_{51}^y = \frac{M_{51}^y}{b \cdot h_{0y}^2 \cdot R_c} = \frac{1{,}86 \times 10^6}{1.000 \times 82{,}5^2 \times 9{,}50} = 0{,}0288 < m_b = 0{,}4$$

$$\Rightarrow 0{,}045\% < p_y^c = 0{,}075\% < 0{,}085\%$$

$$\Rightarrow p_y = p_{ymin} = 1{,}15 p_y^c = 1{,}15 \times 0{,}075\% = 0{,}086\%$$

$$A_{ay} = \frac{p_y}{100} b \cdot h_{0y} = \frac{0{,}086}{100} \times 1.000 \times 82{,}5 = 71 \text{ mm}^2$$

Se adoptă plasă sudată ∅5/100×∅5/200 cu A_{ax}=196 mm² şi A_{ay}=98 mm².

Armarea reazemelor

Reazemul $R_{1,2}^{y1}$

$h_{0x} = h - a - d_x/2 = 100 - 10 - 6/2 = 87{,}0$ mm

$$m_{x1,2}^1 = \frac{M_{x1,2}^1}{b \cdot h_{0x}^2 \cdot R_c} = \frac{8{,}35 \times 10^6}{1.000 \times 87{,}0^2 \times 9{,}50} = 0{,}1161 < m_b = 0{,}4$$

$$\Rightarrow p_x^c = p_x = 0{,}318\% > 0{,}100\%$$

$$A_{ax} = \frac{p_x}{100} b \cdot h_{0x} = \frac{0{,}318}{100} \times 1.000 \times 87{,}0 = 277 \text{ mm}^2$$

Se adoptă plasă sudată ∅6/100×∅4/300 cu A_{ax}=283 mm².

Reazemul $R_{2,3}^{y1}$

$h_{0x} = h - a - d_x/2 = 100 - 10 - 5{,}6/2 = 87{,}2$ mm

$$m_{x2,3}^1 = \frac{M_{x2,3}^1}{b \cdot h_{0x}^2 \cdot R_c} = \frac{6{,}96 \times 10^6}{1.000 \times 87{,}2^2 \times 9{,}50} = 0{,}1551 < m_b = 0{,}4$$

$$\Rightarrow p_x^c = p_x = 0{,}261\% > 0{,}100\%$$

$$A_{ax} = \frac{p_x}{100} b \cdot h_{0x} = \frac{0{,}261}{100} \times 1.000 \times 87{,}2 = 228 \text{ mm}^2$$

Se adoptă plasă sudată ∅5,6/100×∅4/300 cu A_{ax}=246 mm².

Reazemul $R_{3,4}^{y1}$

$h_{0x} = h - a - d_x/2 = 100 - 10 - 5{,}6/2 = 87{,}2$ mm

$$m_{x3,4}^1 = \frac{M_{x3,4}^1}{b \cdot h_{0x}^2 \cdot R_c} = \frac{6{,}96 \times 10^6}{1.000 \times 87{,}2^2 \times 9{,}50} = 0{,}1551 < m_b = 0{,}4$$

$$\Rightarrow p_x^c = p_x = 0{,}261\% > 0{,}100\%$$

$$A_{ax} = \frac{p_x}{100} b \cdot h_{0x} = \frac{0{,}261}{100} \times 1.000 \times 87{,}2 = 228 \text{ mm}^2$$

Se adoptă plasă sudată ∅5,6/100×∅4/300 cu A_{ax}=246 mm².

$h_{0x} = h - a - d_x/2 = 100 - 10 - 6/2 = 87{,}0$ mm

$$m^{I}_{x4,5} = \frac{M^{I}_{x4,5}}{b \cdot h^{2}_{0x} \cdot R_c} = \frac{8{,}35 \times 10^6}{1.000 \times 87{,}0^2 \times 9{,}50} = 0{,}1161 < m_b = 0{,}4$$

$$\Rightarrow p^{c}_{x} = p_x = 0{,}318\% > 0{,}100\%$$

$$A_{ax} = \frac{p_x}{100} b \cdot h_{0x} = \frac{0{,}318}{100} \times 1.000 \times 87{,}0 = 277 \text{ mm}^2$$

Se adoptă plasă sudată Ø6/100×Ø4/300 cu A_{ax}=283 mm^2.

Schița de armare (fig. 4.22, fig. 4.23)

Armarea în câmpuri (la fața inferioară a planșeului) cu plase sudate netipizate este prezentată în figura 4.22. Plasele sudate au următoarele simboluri:

- panoul P_{11}: PS_1 Ø5/100×Ø5/200;
- panoul P_{21}: PS_2 Ø5/150×Ø5/200;
- panoul P_{31}: PS_2 Ø5/150×Ø5/200;
- panoul P_{41}: PS_2 Ø5/150×Ø5/200;
- panoul P_{51}: PS_1 Ø5/100×Ø5/200.

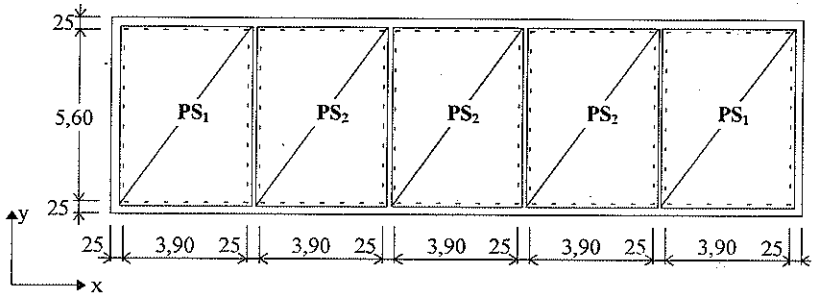


Fig. 4.22

Armarea reazemelor (pentru preluarea momentelor negative) cu plase sudate netipizate este prezentată în figura 4.23. Plasele sudate au următoarele simboluri:

- reazemele $R^{yI}_{1,2}$, $R^{yI}_{4,5}$: PS_3 Ø6/100×Ø4/300;
- reazemele $R^{yI}_{2,3}$, $R^{yI}_{3,4}$: PS_4 Ø5,6/150×Ø4/300.

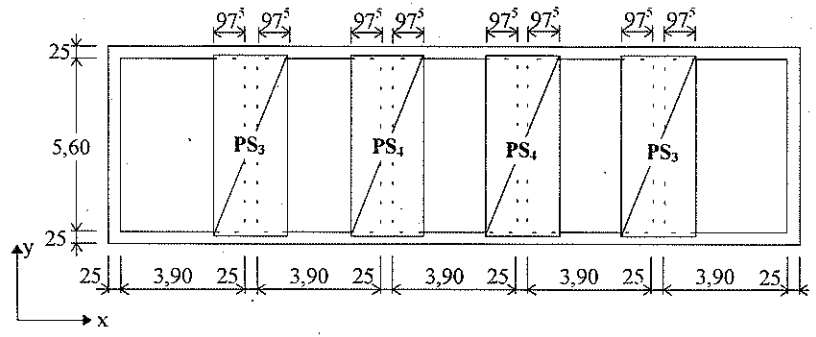


Fig. 4.23

Să se proiecteze placa monolită a planșeului intermediar din figura 4.24, al unei clădiri de locuit, sarcina utilă având valoarea de exploatare egală cu 2,00 kN/m^2. Pardoseala este confecționată din parchet lamelar.

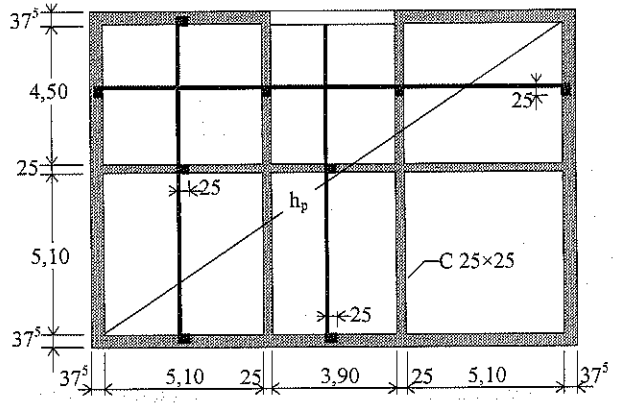


Fig. 4.24

Sistemul constructiv

- raportul maxim al luminilor unui panou de placă este l_{ymax}/l_{xmin}=5,10/3,90=1,31<2, placa reazemă pe pereți din zidărie prin intermediul unor centuri din beton armat și un panou de placă reazemă doar pe trei laturi:

$\Rightarrow$ placă continuă armată pe două direcții;

- grosimea minimă recomandată (p. 1.3.2):

$$h_{pmin} = \begin{cases} l_{xmax}/40 = 5.100/40 = 127{,}5 \text{ mm} \\ 60 \text{ mm} \end{cases};$$

- se adoptă h_p=140 mm.

Acțiuni

Denumirea acțiunii	A^n (kN/m^2)	n^d	A^{Id} (kN/m^2)	n	A (kN/m^2)
Acțiuni permanente					
- greutatea proprie a plăcii: 0,14m×25,0kN/m^3	3,50	1,0	3,50	1,1	3,85
- pardodeală parchet: 0,73kN/m^2	0,73	1,0	0,73	1,3	0,95
TOTAL	g^n=4,23		g^{Id}=4,23		g=4,80
Acțiuni temporare					
- încărcarea utilă: 2,00kN/m^2	2,00	0,4	0,80	1,4	2,80
TOTAL	p^n=2,00		p^{Id}=0,80		p=2,80

Schema statică (fig. 4.25). Deschideri de calcul

- schema statică este de placă continuă armată pe două direcții cu înălțimea constantă de 140 mm;
- având în vedere monolitismul legăturilor, deschiderile de calcul sunt (p. 1.2.1):

l_{x1}=5,10 m l_{x2}=3,90 m l_{x3}=5,10 m

l_{y1}=5,10 m l_{y2}=4,50 m

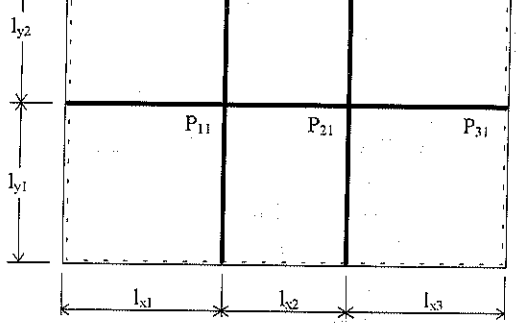


Fig. 4.25

Calculul static

• deoarece:

– rapoartele minime ale deschiderilor de calcul pe cele două direcții sunt $l_{xmin}/l_{xmax} = l_{x2}/l_{x1} = 3,90/5,10 = 0,76$ și $l_{ymin}/l_{ymax} = l_{x2}/l_{x1} = 4,50/5,10 = 0,88$ rezultă că deschiderile de calcul nu diferă cu mai mult de 30% pe fiecare direcție;

– $v = q^{ld}/q^{n} = (4,23+0,80)/(4,23+2,00) = 0,81 > 0,75$;

– placa nu reazemă continuu pe tot conturul (panou P_{22} are o latură liberă);

– încărcarea temporară p prezintă mai multe scheme de încărcare;

se recomandă efectuarea calculului static în domeniul elastic, dar pentru această situație de proiectare nu există elaborate procedee simplificate de calcul; în consecință, deoarece utilizarea metodelor exacte de analiză în domeniul elastic (metoda elementului finit, metoda diferențelor finite, etc.) nu este justificată de alcătuirea constructivă, importanța deosebită sau condiții de exploatare restrictive, calculul static se va efectua simplificat în domeniul plastic prin metoda echilibrului limită, în conformitate cu prevederile subcapitolului 4.2;

• calculul momentelor încovoietoare plastice se va efectua considerând încărcarea totală de calcul:

$$q = g + p = 4,80 + 2,80 = 7,60 \text{ kN/m}^2$$

• calculul se va efectua fără a lua în considerare reduceri ale ariilor de armătură în fâșiile de margine ale panourilor de plăci;

• la panourile plăcii rezemate pe tot conturul, valorile momentelor plastice de calcul se obțin aplicând ecuația (3.21);

• la panoul P_{22} rezemat pe trei laturi, deoarece raportul între deschiderile de calcul $0,5 < l_2/l_1 = l_{y2}/l_{x2} = 4,50/3,90 = 1,15 < 2$, valorile momentelor plastice de calcul se obțin aplicând relația (3.24);

• rapoartele între momente se iau în conformitate cu prevederile subcapitolului 4.2;

Panoul P_{11}

$-\lambda = l_2/l_1 = l_{y1}/l_{x1} = 5,10/5,10 = 1,00$, conform tab. 3.4:

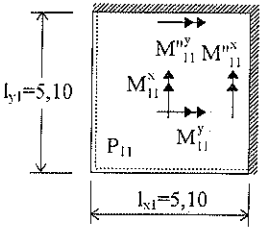
$M^x_{11}/M^y_{11} = 1,00$

$-0,7 < l_{x2}/l_{x1} = 3,90/5,10 = 0,76 < 1,0$:

$M^x_{11}/M''^x_{11} = 0,74$

$-0,7 < l_{y2}/l_{y1} = 4,50/5,10 = 0,88 < 1,0$:

$M^y_{11}/M''^y_{11} = 0,62$



$$\frac{1}{12}q(3l_{x1} - l_{y1})l^2_{y1} = (2M^x_{11} + M''^x_{11})l_{y1} + (2M^y_{11} + M''^y_{11})l_{x1}$$

$$\frac{1}{12}\times 7,60\times(3\times 5,10 - 5,10)\times 5,10^2 = (2M^x_{11} + M''^x_{11})\times 5,10 + (2M^y_{11} + M''^y_{11})\times 5,10$$

- se obține:

$$\begin{cases} 168,02 = 5,10(2M^x_{11} + M''^x_{11}) + 5,10(2M^y_{11} + M''^y_{11}) \\ M^x_{11} = M^y_{11} \\ M^x_{11} = 0,74M''^x_{11} \\ M^y_{11} = 0,62M''^y_{11} \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} M^x_{11} = 4,73 \text{ kNm} \\ M''^x_{11} = 6,39 \text{ kNm} \\ M^y_{11} = 4,73 \text{ kNm} \\ M''^y_{11} = 7,63 \text{ kNm} \end{cases}$$

Panoul P_{31}

$-\lambda = l_2/l_1 = l_{y1}/l_{x3} = 5,10/5,10 = 1,00$, conform tab. 3.4:

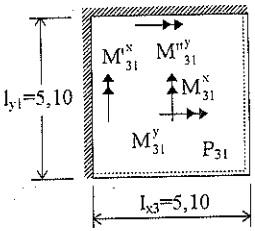
$M^x_{31}/M^y_{31} = 1,00$

$-0,7 < l_{x2}/l_{x3} = 3,90/5,10 = 0,76 < 1,0$:

$M^x_{31}/M'^x_{31} = 0,74$

$-0,7 < l_{y2}/l_{y1} = 4,50/5,10 = 0,88 < 1,0$:

$M^y_{31}/M''^y_{31} = 0,62$



- ecuația lucrului mecanic virtual:

$$\frac{1}{12}q(3l_{x3} - l_{y1})l^2_{y1} = (M'^x_{31} + 2M^x_{31})l_{y1} + (2M^y_{31} + M''^y_{31})l_{x3}$$

$$\frac{1}{12}\times 7,60\times(3\times 5,10 - 5,10)\times 5,10^2 = (M'^x_{31} + 2M^x_{31})\times 5,10 + (2M^y_{31} + M''^y_{31})\times 5,10$$

- se obține:

$$\begin{cases} 168,02 = 5,10(M'^x_{31} + M^x_{31}) + 5,10(2M^y_{31} + M''^y_{31}) \\ M^x_{31} = M^y_{31} \\ M^x_{31} = 0,74M'^x_{31} \\ M^y_{31} = 0,62M''^y_{31} \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} M^x_{31} = 4,73 \text{ kNm} \\ M'^x_{31} = 6,39 \text{ kNm} \\ M^y_{31} = 4,73 \text{ kNm} \\ M''^y_{31} = 7,63 \text{ kNm} \end{cases}$$

Panoul P_{21}

$-\lambda = l_2/l_1 = l_{y1}/l_{x2} = 5,10/3,90 = 1,31$, conform tab. 3.5:

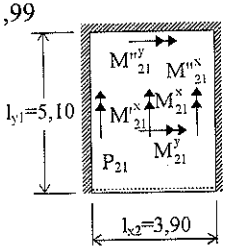
$M^x_{21}/M^y_{21} = \alpha_{51} \cdot l^2_{x2}/\alpha_{52} \cdot l^2_{y1} = 0,0307\times 3,90^2/0,0090\times 5,10^2 = 1,99$

$-0,7 < l_{x2}/l_{x1} = 3,90/5,10 = l_{x2}/l_{x3} = 3,90/5,10 = 0,76 < 1,0$:

$M'^x_{21} = M''^x_{11} = M''^x_{21} = M^x_{31} = 6,38 \text{ kNm}$

$-0,7 < l_{y2}/l_{y1} = 4,50/5,10 = 0,88 < 1,0$:

$M^y_{21}/M''^y_{21} = 0,62$



- ecuația lucrului mecanic virtual:

$$\frac{1}{12}q(3l_{x2} - l_{y1})l^2_{y1} = (M'^x_{21} + 2M^x_{21} + M''^x_{21})l_{y1} + (2M^y_{21} + M''^y_{21})l_{x2}$$

$$\frac{1}{12}\times 7,60\times(3\times 3,90 - 5,10)\times 5,10^2 = (6,39 + 2M^x_{21} + 6,39)\times 5,10 + (2M^y_{21} + M''^y_{21})\times 3,90$$

- se obține:

$$\begin{cases} M_{21}^{x} = 1{,}99M_{21}^{y} \\ M'^{x}_{21} = 6{,}39\ \text{kNm} \\ M''^{x}_{21} = 6{,}39\ \text{kNm} \\ M_{21}^{y} = 0{,}62M''^{y}_{21} \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} M'^{x}_{21} = 6{,}39\ \text{kNm} \\ M''^{x}_{21} = 6{,}39\ \text{kNm} \\ M_{21}^{y} = 1{,}26\ \text{kNm} \\ M''^{y}_{21} = 2{,}04\ \text{kNm} \end{cases}$$

Panoul P_{12}

$-\lambda = l_2/l_1 = l_{y2}/l_{x1} = 4{,}50/5{,}10 = 0{,}88$, conform tab. 3.4:

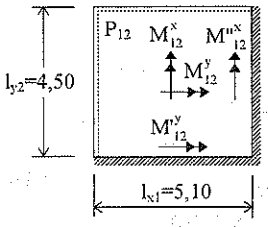
$$M_{12}^{x}/M_{12}^{y} = \alpha_{41}\cdot l_{x1}^2/\alpha_{42}\cdot l_{y2}^2 = 0{,}0204\times 5{,}10^2/0{,}0340\times 4{,}50^2 = 0{,}77$$

$-0{,}7 < l_{x2}/l_{x1} = 3{,}90/5{,}10 = 0{,}76 < 1{,}0$:

$M_{12}^{x}/M''^{x}_{12} = 0{,}74$

$-0{,}7 < l_{y2}/l_{y1} = 4{,}50/5{,}10 = 0{,}88 < 1{,}0$:

$M'^{y}_{12} = M''^{y}_{11} = 7{,}63\ \text{kNm}$



- ecuația lucrului mecanic virtual:

$$\frac{1}{12}q\left(3l_{x1}-l_{y2}\right)l_{y2}^2 = \left(2M_{12}^{x}+M''^{x}_{12}\right)l_{y2}+\left(M'^{y}_{12}+2M_{12}^{y}\right)l_{x1}$$

$$\frac{1}{12}\times 7{,}60\times(3\times 5{,}10-4{,}50)\times 4{,}50^2 = \left(2M_{12}^{x}+M''^{x}_{12}\right)\times 4{,}50+\left(7{,}63+2M_{12}^{y}\right)\times 5{,}10$$

- se obține:

$$\begin{cases} 138{,}51 = 4{,}50\left(2M_{12}^{x}+M''^{x}_{12}\right)+5{,}10\left(7{,}63+2M_{12}^{y}\right) \\ M_{12}^{x} = 0{,}77M_{12}^{y} \\ M_{12}^{x} = 0{,}74M''^{x}_{12} \\ M'^{y}_{12} = 7{,}63\ \text{kNm} \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} M_{12}^{x} = 3{,}52\ \text{kNm} \\ M''^{x}_{12} = 4{,}75\ \text{kNm} \\ M_{12}^{y} = 4{,}57\ \text{kNm} \\ M'^{y}_{12} = 7{,}63\ \text{kNm} \end{cases}$$

Panoul P_{32}

$-\lambda = l_2/l_1 = l_{y2}/l_{x3} = 4{,}50/5{,}10 = 0{,}88$, conform tab. 3.4:

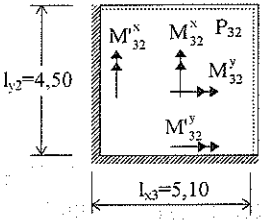
$$M_{32}^{x}/M_{32}^{y} = \alpha_{41}\cdot l_{x3}^2/\alpha_{42}\cdot l_{y2}^2 = 0{,}0204\times 5{,}10^2/0{,}0340\times 4{,}50^2 = 0{,}77$$

$-0{,}7 < l_{x2}/l_{x3} = 3{,}90/5{,}10 = 0{,}76 < 1{,}0$:

$M_{32}^{x}/M'^{x}_{32} = 0{,}74$

$-0{,}7 < l_{y2}/l_{y1} = 4{,}50/5{,}10 = 0{,}88 < 1{,}0$:

$M'^{y}_{32} = M''^{y}_{31} = 7{,}63\ \text{kNm}$



- ecuația lucrului mecanic virtual:

$$\frac{1}{12}q\left(3l_{x3}-l_{y2}\right)l_{y2}^2 = \left(M'^{x}_{32}+2M_{32}^{x}\right)l_{y2}+\left(M'^{y}_{32}+2M_{32}^{y}\right)l_{x3}$$

$$\frac{1}{12}\times 7{,}60\times(3\times 5{,}10-4{,}50)\times 4{,}50^2 = \left(M'^{x}_{32}+2M_{32}^{x}\right)\times 4{,}50+\left(7{,}63+2M_{32}^{y}\right)\times 5{,}10$$

- se obține:

$$\begin{cases} 138{,}51 = 4{,}50\left(M'^{x}_{32}+2M_{32}^{x}\right)+5{,}10\left(7{,}63+2M_{32}^{y}\right) \\ M_{32}^{x} = 0{,}77M_{32}^{y} \\ M_{32}^{x} = 0{,}74M'^{x}_{32} \\ M'^{y}_{32} = 7{,}63\ \text{kNm} \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} M_{32}^{x} = 3{,}52\ \text{kNm} \\ M'^{x}_{32} = 4{,}75\ \text{kNm} \\ M_{32}^{y} = 4{,}57\ \text{kNm} \\ M'^{y}_{32} = 7{,}64\ \text{kNm} \end{cases}$$

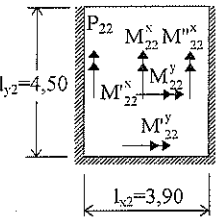
$M_{22}^{x}/M_{22}^{y} = \alpha_{41}\cdot l_{x2}^2/\alpha_{42}\cdot l_{y2}^2 = 0{,}0309\times 3{,}90^2/0{,}0130\times 4{,}50^2 = 1{,}79$

$-0{,}7 < l_{x2}/l_{x1} = 3{,}90/5{,}10 = l_{x2}/l_{x3} = 3{,}90/5{,}10 = 0{,}76 < 1{,}0$:

$M_{22}^{x} = M''^{x}_{12} = M''^{x}_{22} = M'^{x}_{22} = 4{,}75\ \text{kNm}$

$-0{,}7 < l_{y2}/l_{y1} = 4{,}50/5{,}10 = 0{,}88 < 1{,}0$:

$M_{22}^{y} = M''^{y}_{21} = 2{,}04\ \text{kNm}$



- ecuația lucrului mecanic virtual:

$$\frac{1}{24}q\left(6l_{y2}-l_{x2}\right)l_{x2}^2 = \left(M'^{x}_{22}+2M_{22}^{x}+M''^{x}_{22}\right)l_{y2}+\left(M'^{y}_{22}+2M_{22}^{y}\right)l_{x2}$$

$$\frac{1}{24}\times 7{,}60\times(6\times 4{,}50-3{,}90)\times 3{,}90^2 = \left(4{,}75+2M_{22}^{x}+4{,}75\right)\times 4{,}50+\left(2{,}04+2M_{22}^{y}\right)\times 3{,}90$$

- se obține:

$$\begin{cases} 111{,}26 = 4{,}50\left(4{,}75+2M_{22}^{x}+4{,}75\right)+3{,}90\left(2{,}04+2M_{22}^{y}\right) \\ M_{22}^{x} = 1{,}79M_{22}^{y} \\ M'^{x}_{22} = 4{,}75\ \text{kNm} \\ M_{22}^{x} = 4{,}75\ \text{kNm} \\ M'^{y}_{22} = 2{,}04\ \text{kNm} \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} M_{22}^{x} = 4{,}53\ \text{kNm} \\ M'^{x}_{22} = 4{,}75\ \text{kNm} \\ M''^{x}_{22} = 4{,}75\ \text{kNm} \\ M_{22}^{y} = 2{,}53\ \text{kNm} \\ M'^{y}_{21} = 2{,}04\ \text{kNm} \end{cases}$$

Deci, momentele în câmpurile panourilor sunt:

Panoul P_{11} $\begin{cases} M_{11}^{x} = 4{,}73\ \text{kNm} \\ M_{11}^{y} = 4{,}73\ \text{kNm} \end{cases}$ Panoul P_{21} $\begin{cases} M_{21}^{x} = 2{,}52\ \text{kNm} \\ M_{21}^{y} = 1{,}26\ \text{kNm} \end{cases}$

Panoul P_{31} $\begin{cases} M_{31}^{x} = 4{,}73\ \text{kNm} \\ M_{31}^{y} = 4{,}73\ \text{kNm} \end{cases}$ Panoul P_{12} $\begin{cases} M_{12}^{x} = 3{,}52\ \text{kNm} \\ M_{12}^{y} = 4{,}57\ \text{kNm} \end{cases}$

Panoul P_{22} $\begin{cases} M_{22}^{x} = 4{,}53\ \text{kNm} \\ M_{22}^{y} = 2{,}53\ \text{kNm} \end{cases}$ Panoul P_{32} $\begin{cases} M_{32}^{x} = 3{,}52\ \text{kNm} \\ M_{32}^{y} = 4{,}57\ \text{kNm} \end{cases}$

Momentele plastice pe reazeme sunt:

Reazemul $R_{1,2}^{y1}$ $M_{x1,2}^{1} = M''^{x}_{11} = M'^{x}_{21} = 6{,}39\ \text{kNm}$

Reazemul $R_{2,3}^{y1}$ $M_{x2,3}^{1} = M''^{x}_{21} = M'^{x}_{31} = 6{,}39\ \text{kNm}$

Reazemul $R_{1,2}^{y2}$ $M_{x1,2}^{2} = M''^{x}_{12} = M'^{x}_{22} = 4{,}75\ \text{kNm}$

Reazemul $R_{2,3}^{y2}$ $M_{x2,3}^{2} = M''^{x}_{22} = M'^{x}_{32} = 4{,}75\ \text{kNm}$

Reazemul $R_{1,2}^{x1}$ $M_{y1,2}^{1} = M''^{y}_{11} = M'^{y}_{12} = 7{,}63\ \text{kNm}$

Reazemul $R_{1,2}^{x2}$ $M_{y1,2}^{2} = M''^{y}_{21} = M'^{y}_{22} = 2{,}04\ \text{kNm}$

Reazemul $R_{1,2}^{x3}$ $M_{y1,2}^{3} = M''^{y}_{31} = M'^{y}_{32} = 7{,}63\ \text{kNm}$

Dimensionarea

Materiale

- beton Bc 15, cu $R_{ck} = 12{,}50$ MPa, $R_{tk} = 1{,}19$ MPa (anexa II, tab. II.1):
  - $R_c^* = 9{,}50$ MPa, m_{bc}=1,0, $R_t^* = 1{,}19$ MPa, m_{bt}=1,0 (anexa II, tab. II.1):

$R_t = m_{bt} \cdot R_t = 1{,}0 \times 0{,}80 = 0{,}80$ MPa

- oțel STNB, cu $R_{ak} = 440$ MPa (anexa II, tab. II.2):
  - $R_a^* = 370$ MPa, m_a=1,0 (anexa II, tab. II.2):

$$R_a = m_a \cdot R_a^* = 1{,}0 \times 370 = 370 \text{ MPa}$$

Mărimi geometrice ale secțiunii

- pentru plăci din categoria I-a din punctul de vedere al condițiilor de expunere:

$$a \geq \begin{cases} 10 \text{ mm (p.1.3.1, tab. 1.1)} \\ 1{,}2d_{max} \cong 1{,}2 \times 6 = 7{,}2 \text{ mm (p.1.3.1)} \end{cases} \Rightarrow a = 15 \text{ mm}$$

Armarea panourilor în câmp

Panoul P_{11}

- direcția x

$$h_{0x} = h - a - d_x/2 = 140 - 15 - 5/2 = 122{,}5 \text{ mm}$$

$$m_{11}^x = \frac{M_{11}^x}{b \cdot h_{0x}^2 \cdot R_c} = \frac{4{,}73 \times 10^6}{1.000 \times 122{,}5^2 \times 9{,}50} = 0{,}0332 < m_b = 0{,}4$$

$$\Rightarrow 0{,}085\% < p_x^c = 0{,}087\% < 0{,}100\%$$

$$\Rightarrow p_x = p_{xmin} = 0{,}100\%$$

$$A_{ax} = \frac{p_x}{100} b \cdot h_{0x} = \frac{0{,}100}{100} \times 1.000 \times 122{,}5 = 123 \text{ mm}^2$$

- direcția y

$$h_{0y} = h - a - d_x - d_y/2 = 140 - 15 - 5 - 5/2 = 117{,}5 \text{ mm}$$

$$m_{11}^y = \frac{M_{11}^y}{b \cdot h_{0y}^2 \cdot R_c} = \frac{4{,}73 \times 10^6}{1.000 \times 117{,}5^2 \times 9{,}50} = 0{,}0361 < m_b = 0{,}4$$

$$\Rightarrow 0{,}085\% < p_y^c = 0{,}094\% < 0{,}100\%$$

$$\Rightarrow p_y = p_{ymin} = 0{,}100\%$$

$$A_{ay} = \frac{p_y}{100} b \cdot h_{0y} = \frac{0{,}100}{100} \times 1.000 \times 117{,}5 = 118 \text{ mm}^2$$

Se adoptă plasă sudată Ø5/150×Ø5/150 cu A_{ax}=A_{ay}=131 mm^2.

Panoul P_{21}

- direcția x

$$h_{0x} = h - a - d_x/2 = 140 - 15 - 5/2 = 122{,}5 \text{ mm}$$

$$m_{21}^x = \frac{M_{21}^x}{b \cdot h_{0x}^2 \cdot R_c} = \frac{2{,}52 \times 10^6}{1.000 \times 122{,}5^2 \times 9{,}50} = 0{,}0177 < m_b = 0{,}4$$

$$\Rightarrow 0{,}045\% < p_x^c = 0{,}046\% < 0{,}085\%$$

$$\Rightarrow p_x = p_{xmin} = 1{,}15 p_x^c = 1{,}15 \times 0{,}046\% = 0{,}053\%$$

$$A_{ax} = \frac{p_x}{100} b \cdot h_{0x} = \frac{0{,}053}{100} \times 1.000 \times 122{,}5 = 65 \text{ mm}^2$$

$h_{0y} = h - a - d_x - d_y/2 = 140 - 15 - 5 - 5/2 = 117{,}5$ mm

$$m_{21}^y = \frac{M_{21}^y}{b \cdot h_{0y}^2 \cdot R_c} = \frac{1{,}26 \times 10^6}{1.000 \times 117{,}5^2 \times 9{,}50} = 0{,}0096 < m_b = 0{,}4$$

$$\Rightarrow p_y^c = 0{,}025\% < 0{,}045\%$$

$$\Rightarrow p_y = p_{ymin} = 0{,}050\%$$

$$A_{ay} = \frac{p_y}{100} b \cdot h_{0y} = \frac{0{,}050}{100} \times 1.000 \times 117{,}5 = 59 \text{ mm}^2$$

Se adoptă plasă sudată Ø5/300×Ø5/300 cu A_{ax}=A_{ay}=66 mm^2.

Panoul P_{31}

- direcția x

$$h_{0x} = h - a - d_x/2 = 140 - 15 - 5/2 = 122{,}5 \text{ mm}$$

$$m_{31}^x = \frac{M_{31}^x}{b \cdot h_{0x}^2 \cdot R_c} = \frac{4{,}73 \times 10^6}{1.000 \times 122{,}5^2 \times 9{,}50} = 0{,}0332 < m_b = 0{,}4$$

$$\Rightarrow 0{,}085\% < p_x^c = 0{,}087\% < 0{,}100\%$$

$$\Rightarrow p_x = p_{xmin} = 0{,}100\%$$

$$A_{ax} = \frac{p_x}{100} b \cdot h_{0x} = \frac{0{,}100}{100} \times 1.000 \times 122{,}5 = 123 \text{ mm}^2$$

- direcția y

$$h_{0y} = h - a - d_x - d_y/2 = 140 - 15 - 5 - 5/2 = 117{,}5 \text{ mm}$$

$$m_{31}^y = \frac{M_{31}^y}{b \cdot h_{0y}^2 \cdot R_c} = \frac{4{,}73 \times 10^6}{1.000 \times 117{,}5^2 \times 9{,}50} = 0{,}0361 < m_b = 0{,}4$$

$$\Rightarrow 0{,}085\% < p_y^c = 0{,}094\% < 0{,}100\%$$

$$\Rightarrow p_y = p_{ymin} = 0{,}100\%$$

$$A_{ay} = \frac{p_y}{100} b \cdot h_{0y} = \frac{0{,}100}{100} \times 1.000 \times 117{,}5 = 118 \text{ mm}^2$$

Se adoptă plasă sudată Ø5/150×Ø5/150 cu A_{ax}=A_{ay}=131 mm^2.

Panoul P_{12}

- direcția x

$$h_{0x} = h - a - d_x/2 = 140 - 15 - 5/2 = 122{,}5 \text{ mm}$$

$$m_{12}^x = \frac{M_{12}^x}{b \cdot h_{0x}^2 \cdot R_c} = \frac{3{,}52 \times 10^6}{1.000 \times 122{,}5^2 \times 9{,}50} = 0{,}0247 < m_b = 0{,}4$$

$$\Rightarrow 0{,}045\% < p_x^c = 0{,}064\% < 0{,}085\%$$

$$\Rightarrow p_x = p_{xmin} = 1{,}15 p_x^c = 1{,}15 \times 0{,}064\% = 0{,}074\%$$

$$A_{ax} = \frac{p_x}{100} b \cdot h_{0x} = \frac{0{,}074}{100} \times 1.000 \times 122{,}5 = 91 \text{ mm}^2$$

- direcția y

$$h_{0y} = h - a - d_x - d_y/2 = 140 - 15 - 5 - 5/2 = 117{,}5 \text{ mm}$$

$$m_{12}^y = \frac{M_{12}^y}{b \cdot h_{0y}^2 \cdot R_c} = \frac{4{,}57 \times 10^6}{1.000 \times 117{,}5^2 \times 9{,}50} = 0{,}0348 < m_b = 0{,}4$$

$$\Rightarrow p_y = p_{ymin} = 0{,}100\%$$

$$A_{ay} = \frac{p_y}{100} b \cdot h_{0y} = \frac{0{,}100}{100} \times 1.000 \times 117{,}5 = 118 \text{ mm}^2$$

Se adoptă plasă sudată Ø5/200×Ø5/150 cu A_{ax}=98 mm^2 şi A_{ay}=131 mm^2.

Panoul P_{22}

• direcția x

$$h_{0x} = h - a - d_x/2 = 140 - 15 - 5/2 = 122{,}5 \text{ mm}$$

$$m_{22}^x = \frac{M_{22}^x}{b \cdot h_{0x}^2 \cdot R_c} = \frac{4{,}53 \times 10^6}{1.000 \times 122{,}5^2 \times 9{,}50} = 0{,}0318 < m_b = 0{,}4$$

$$\Rightarrow 0{,}045\% < p_x^c = 0{,}083\% < 0{,}085\%$$

$$\Rightarrow p_x = p_{xmin} = 1{,}15 p_x^c = 1{,}15 \times 0{,}083\% = 0{,}095\%$$

$$A_{ax} = \frac{p_x}{100} b \cdot h_{0x} = \frac{0{,}095}{100} \times 1.000 \times 122{,}5 = 116 \text{ mm}^2$$

• direcția y

$$h_{0y} = h - a - d_x - d_y/2 = 140 - 15 - 5 - 5/2 = 117{,}5 \text{ mm}$$

$$m_{22}^y = \frac{M_{22}^y}{b \cdot h_{0y}^2 \cdot R_c} = \frac{2{,}53 \times 10^6}{1.000 \times 117{,}5^2 \times 9{,}50} = 0{,}0193 < m_b = 0{,}4$$

$$\Rightarrow 0{,}045\% < p_y^c = 0{,}050\% < 0{,}085\%$$

$$\Rightarrow p_y = p_{ymin} = p_y^c = 1{,}15 \times 0{,}050\% = 0{,}058\%$$

$$A_{ay} = \frac{p_y}{100} b \cdot h_{0y} = \frac{0{,}058}{100} \times 1.000 \times 117{,}5 = 68 \text{ mm}^2$$

Se adoptă plasă sudată Ø5/150×Ø5/300 cu A_{ax}=131 mm^2 şi A_{ay}=66 mm^2.

Panoul P_{32}

• direcția x

$$h_{0x} = h - a - d_x/2 = 140 - 15 - 5/2 = 122{,}5 \text{ mm}$$

$$m_{32}^x = \frac{M_{32}^x}{b \cdot h_{0x}^2 \cdot R_c} = \frac{3{,}52 \times 10^6}{1.000 \times 122{,}5^2 \times 9{,}50} = 0{,}0247 < m_b = 0{,}4$$

$$\Rightarrow 0{,}045\% < p_x^c = 0{,}064\% < 0{,}085\%$$

$$\Rightarrow p_x = p_{xmin} = 1{,}15 p_x^c = 1{,}15 \times 0{,}064\% = 0{,}074\%$$

$$A_{ax} = \frac{p_x}{100} b \cdot h_{0x} = \frac{0{,}074}{100} \times 1.000 \times 122{,}5 = 91 \text{ mm}^2$$

• direcția y

$$h_{0y} = h - a - d_x - d_y/2 = 140 - 15 - 5 - 5/2 = 117{,}5 \text{ mm}$$

$$m_{32}^y = \frac{M_{32}^y}{b \cdot h_{0y}^2 \cdot R_c} = \frac{4{,}57 \times 10^6}{1.000 \times 117{,}5^2 \times 9{,}50} = 0{,}0348 < m_b = 0{,}4$$

$$\Rightarrow 0{,}85\% < p_y^c = 0{,}91\% < 0{,}100\%$$

$$\Rightarrow p_y = p_{ymin} = 0{,}100\%$$

Se adoptă plasă sudată Ø5/200×Ø5/150 cu A_{ax}=98 mm^2 şi A_{ay}=131 mm^2.

Armarea reazemelor

Reazemul $R_{1,2}^{y1}$

$$h_{0x} = h - a - d_x/2 = 140 - 15 - 5{,}6/2 = 122{,}2 \text{ mm}$$

$$m_{x1,2}^1 = \frac{M_{x1,2}^1}{b \cdot h_{0x}^2 \cdot R_c} = \frac{6{,}39 \times 10^6}{1.000 \times 122{,}2^2 \times 9{,}50} = 0{,}0450 < m_b = 0{,}4$$

$$\Rightarrow p_x^c = p_x = 0{,}118\% > 0{,}100\%$$

$$A_{ax} = \frac{p_x}{100} b \cdot h_{0x} = \frac{0{,}118}{100} \times 1.000 \times 122{,}3 = 145 \text{ mm}^2$$

Se adoptă plasă sudată Ø5,6/150×Ø4/300 cu A_{ax}=164 mm^2.

Reazemul $R_{2,3}^{y1}$

$$h_{0x} = h - a - d_x/2 = 140 - 15 - 5{,}6/2 = 122{,}2 \text{ mm}$$

$$m_{x2,3}^1 = \frac{M_{x2,3}^1}{b \cdot h_{0x}^2 \cdot R_c} = \frac{6{,}39 \times 10^6}{1.000 \times 122{,}2^2 \times 9{,}50} = 0{,}0450 < m_b = 0{,}4$$

$$\Rightarrow p_x^c = p_x = 0{,}118\% > 0{,}100\%$$

$$A_{ax} = \frac{p_x}{100} b \cdot h_{0x} = \frac{0{,}118}{100} \times 1.000 \times 122{,}2 = 145 \text{ mm}^2$$

Se adoptă plasă sudată Ø5,6/150×Ø4/300 cu A_{ax}=164 mm^2.

Reazemul $R_{1,2}^{y2}$

$$h_{0x} = h - a - d_x/2 = 140 - 15 - 5/2 = 122{,}5 \text{ mm}$$

$$m_{x1,2}^2 = \frac{M_{x1,2}^2}{b \cdot h_{0x}^2 \cdot R_c} = \frac{4{,}75 \times 10^6}{1.000 \times 122{,}5^2 \times 9{,}50} = 0{,}0333 < m_b = 0{,}4$$

$$\Rightarrow 0{,}085\% < p_x^c = 0{,}087\% < 0{,}100\%$$

$$\Rightarrow p_x = p_{xmin} = 0{,}100\%$$

$$A_{ax} = \frac{p_x}{100} b \cdot h_{0x} = \frac{0{,}100}{100} \times 1.000 \times 122{,}5 = 123 \text{ mm}^2$$

Se adoptă plasă sudată Ø5/150×Ø4/300 cu A_{ax}=131 mm^2.

Reazemul $R_{2,3}^{y2}$

$$h_{0x} = h - a - d_x/2 = 140 - 15 - 5/2 = 122{,}5 \text{ mm}$$

$$m_{x2,3}^2 = \frac{M_{x2,3}^2}{b \cdot h_{0x}^2 \cdot R_c} = \frac{4{,}75 \times 10^6}{1.000 \times 122{,}5^2 \times 9{,}50} = 0{,}0333 < m_b = 0{,}4$$

$$\Rightarrow 0{,}085\% < p_x^c = 0{,}087\% < 0{,}100\%$$

$$\Rightarrow p_x = p_{xmin} = 0{,}100\%$$

$$A_{ax} = \frac{p_x}{100} b \cdot h_{0x} = \frac{0{,}100}{100} \times 1.000 \times 122{,}5 = 123 \text{ mm}^2$$

Se adoptă plasă sudată Ø5/150×Ø4/300 cu A_{ax}=131 mm^2.

$h_{0y} = h - a - d_y/2 = 140 - 15 - 5/2 = 122,5$ mm

$$m^1_{y1,2} = \frac{M^1_{y1,2}}{b \cdot h^2_{0y} \cdot R_c} = \frac{7,63 \times 10^6}{1.000 \times 122,5^2 \times 9,50} = 0,0535 < m_b = 0,4$$

$$\Rightarrow p^c_y = p_y = 0,141\% > 0,100\%$$

$$A_{ay} = \frac{p_y}{100} b \cdot h_{0y} = \frac{0,141}{100} \times 1.000 \times 122,5 = 173 \text{ mm}^2$$

Se adoptă plasă sudată ∅5/100×∅4/300 cu A_{ay}=196 mm^2.

Reazemul $R^{x2}_{1,2}$

$h_{0y} = h - a - d_y/2 = 140 - 15 - 5/2 = 122,5$ mm

$$m^2_{y1,2} = \frac{M^2_{y1,2}}{b \cdot h^2_{0y} \cdot R_c} = \frac{2,04 \times 10^6}{1.000 \times 122,5^2 \times 9,50} = 0,0143 < m_b = 0,4$$

$$\Rightarrow p^c_y = 0,037\% < 0,045\%$$

$$\Rightarrow p_y = p_{ymin} = 0,050\%$$

$$A_{ay} = \frac{p_y}{100} b \cdot h_{0y} = \frac{0,050}{100} \times 1.000 \times 122,5 = 62 \text{ mm}^2$$

Se adoptă plasă sudată ∅5/300×∅4/300 cu A_{ay}=66 mm^2.

Reazemul $R^{x3}_{1,2}$

$h_{0y} = h - a - d_y/2 = 140 - 15 - 5/2 = 122,5$ mm

$$m^3_{y1,2} = \frac{M^3_{y1,2}}{b \cdot h^2_{0y} \cdot R_c} = \frac{7,63 \times 10^6}{1.000 \times 122,5^2 \times 9,50} = 0,0535 < m_b = 0,4$$

$$\Rightarrow p^c_y = p_y = 0,141\% > 0,100\%$$

$$A_{ay} = \frac{p_y}{100} b \cdot h_{0y} = \frac{0,141}{100} \times 1.000 \times 122,5 = 173 \text{ mm}^2$$

Se adoptă plasă sudată ∅5/100×∅4/300 cu A_{ay}=196 mm^2.

Schița de armare (fig. 4.26, fig. 4.27)

Dispunerea plaselor sudate netipizate este prezentată în figurile 4.26 şi 4.27. Plasele sudate au următoarele simboluri:

- panoul P_{11}: PS_1 ∅5/150×∅5/150;
- panoul P_{21}: PS_2 ∅5/300×∅5/300;
- panoul P_{31}: PS_1 ∅5/150×∅5/150;
- panoul P_{12}: PS_3 ∅5/200×∅5/150;
- panoul P_{22}: PS_4 ∅5/150×∅5/300;
- panoul P_{32}: PS_3 ∅5/200×∅5/150;
- reazemele $R^{y1}_{1,2}$, $R^{y1}_{2,3}$: PS_5 ∅5,6/150×∅4/300;
- reazemele $R^{y2}_{1,2}$, $R^{y2}_{2,3}$: PS_6 ∅5/150×∅4/300;
- reazemele $R^{x1}_{1,2}$, $R^{x3}_{1,2}$: PS_7 ∅5/100×∅4/300;
- reazemul $R^{x2}_{1,2}$: PS_8 ∅5/300×∅4/300.

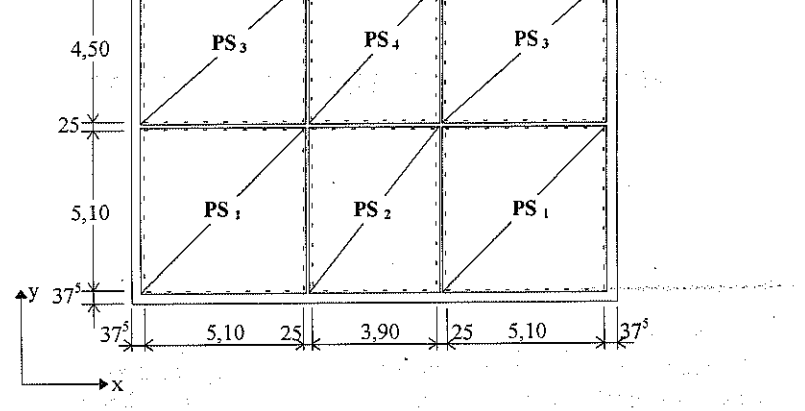


Fig. 4.26

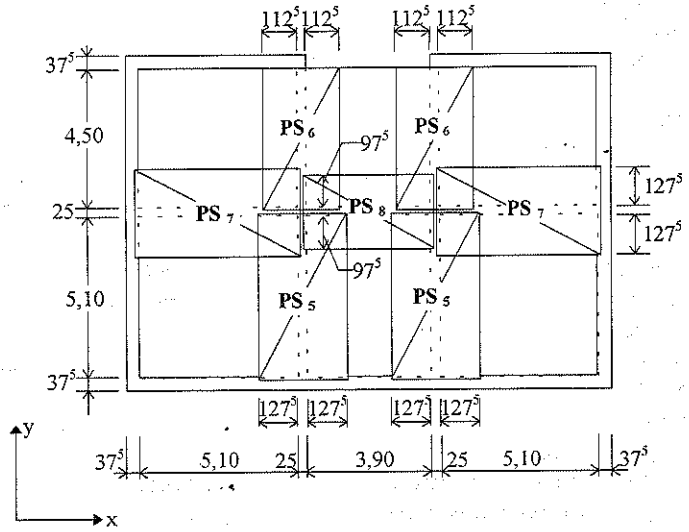


Fig. 4.27

5. PANOURI ŞI SEMIPANOURI PREFABRICATE DE PLANŞEU CU INIMĂ PLINĂ

5.1 Soluţii constructive

Panourile de planşeu (fig. 5.1) sunt formate din plăci prefabricate armate pe două direcţii, rezemate pe trei sau patru laturi. De regulă, dimensiunile unui panou prefabricat acoperă dimensiunile unei unităţi celulare (trame), îmbinarea realizându-se de-a lungul laturilor rezemate. Din motive de gabarit la transport şi manipulare, una din laturile panoului trebuie să aibă lungimea de cel mult 3,60 m. Acoperirea tramelor cu ambele deschideri mai mari de 3,60 m poate fi realizată cu două sau mai multe semipanouri prefabricate, care se îmbină continuu în câmp (fig. 5.2). Înădirea armăturilor în acest caz se face prin sudură sau cu bucle, în conformitate cu prevederile paragrafului 1.3.4.

Grosimea panourilor şi semipanourilor se determină din condiţia de rezistenţă (asigurarea unei înălţimi utile h_0 suficientă a secţiunii), rigiditate (paragraful 1.3.2) sau izolare fonică. În general grosimea minimă este de 100 mm, iar în cazul clădirilor de locuinţe grosimea minimă este de 130 mm.

Panourile şi semipanourile pot rezema pe pereţi din zidărie, grinzi şi diafragme din beton armat. Acestea pot fi independente (simplu rezemate pe contur) sau continuizate pe reazeme.

Planşeele executate cu panouri şi semipanouri prefabricate continuizate trebuie să asigure efectul de şaibă rigidă la acţiuni orizontale. În acest scop panourile şi semipanourile se prevăd cu alveole (fig. 5.3.a) sau praguri (fig. 5.3.b), care au rolul de a asigura poziţionarea corectă a elementelor prefabricate în raport cu elementele de rezemare şi de a prelua lunecările care apar în îmbinările orizontale.

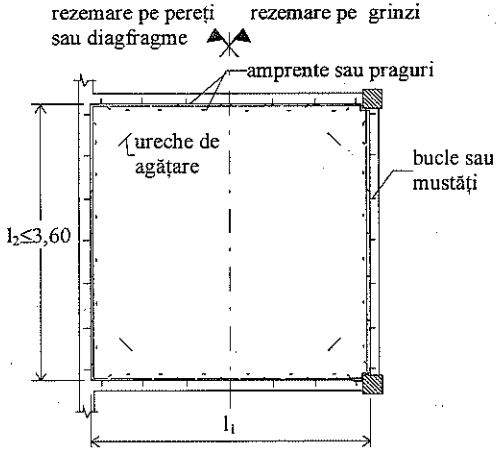


Fig. 5.1

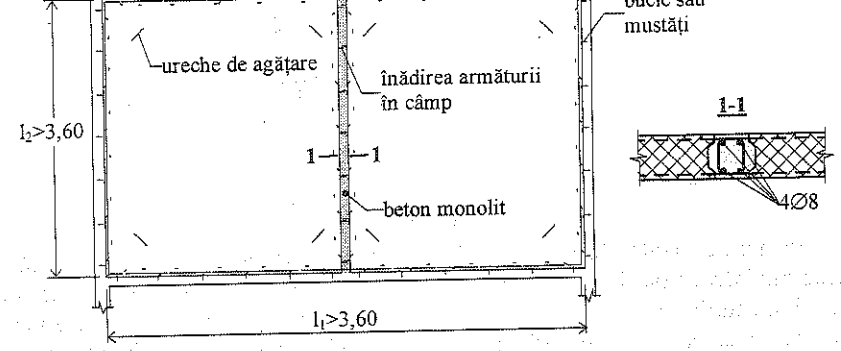


Fig. 5.2

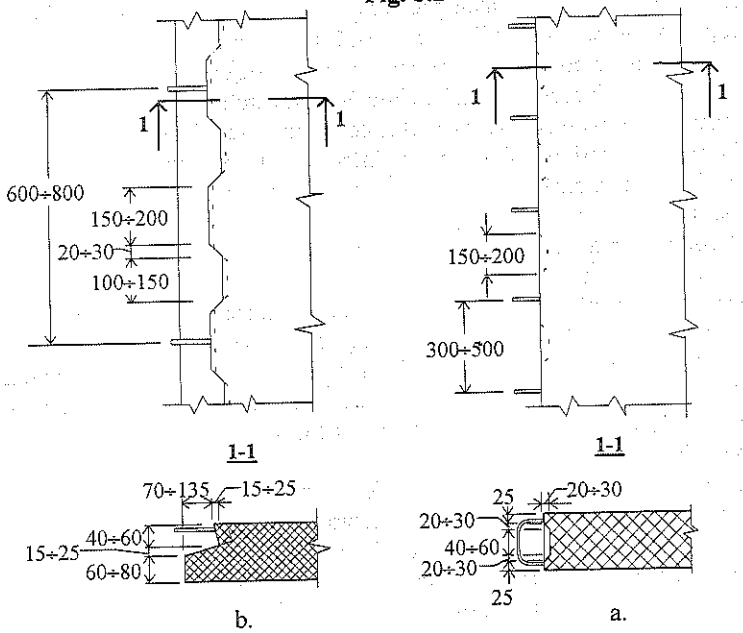


Fig. 5.3

5.2 Detalii de rezemare, îmbinări

Lungimea de rezemare a unui panou prefabricat (fig. 5.4) se stabileşte pe baza condiţiilor:

$$l_r \geq \begin{cases} h_p/3 \\ L/100 + 20 \text{ mm} \\ 60 \text{ mm} \end{cases} \qquad (5.1)$$

În raport cu modul de execuţie, îmbinările panourilor prefabricate pot fi umede, uscate sau mixte. Îmbinările umede se execută prin petrecerea sau sudarea armăturii, urmată de umplerea rostului cu beton. Eforturile se transmit prin betonul

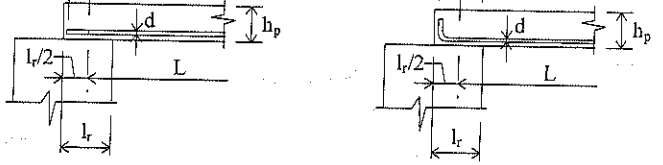


Fig. 5.4

întărit şi armăturile înădite. Realizarea îmbinărilor umede constituie procedeul de bază la realizarea îmbinărilor plăcilor prefabricate. Ele refac în cea mai mare parte caracterul monolit al structurii, necesită un consum redus de materiale şi au o durabilitate mare dacă se execută cu atenţie. Îmbinările uscate transmit eforturile integral prin intermediul pieselor metalice înglobate în elementele prefabricate, care se asamblează cu buloane sau sudură. Protecţia împotriva coroziunii se realizează de obicei prin injectarea cu beton a îmbinării. Piesele metalice pot fi profile şi ţevi din oţel, manşoane din tablă, etc. Durata de execuţie a acestor îmbinări este mai redusă în comparaţie cu a celor umede, dar necesită un consum mai mare de materiale. Aceste îmbinări se utilizează cu precădere la structurile din panouri mari prefabricate. Îmbinările mixte reprezintă o combinaţie a primelor două tipuri de îmbinări, transmiterea eforturilor efectuându-se atât prin piese metalice înglobate cât şi prin armături şi beton.

După comportarea statică, îmbinările pot fi cu continuitate (rigide), fără continuitate (articulaţii) şi cu continuitate parţială.

Rezemarea panourilor şi semipanourilor prefabricate se poate face pe pereţi din zidărie, grinzi din beton armat şi diafragme de beton armat monolite sau prefabricate. Dacă sarcinile temporare ce acţionează pe suprafaţa panourilor prefabricate sunt importante, pentru a preveni un consum prea mare de armătură în câmpuri se preferă soluţia de continuizare a panourilor pe reazeme, acestea lucrând în exploatare ca şi plăci continue.

Rezemarea fără continuitate pe pereţi de zidărie are loc prin intermediul unei centuri din beton armat şi este prezentată în figura 5.5. Conlucrarea între centură şi îmbinare este asigurată cu ajutorul unor agrafe ancorate în centură. Barele buclelor care se petrec în îmbinare au diametrul minim de 8 mm şi sunt înglobate în panourile prefabricate pe o lungime cel puţin egală cu lungimea de ancorare.

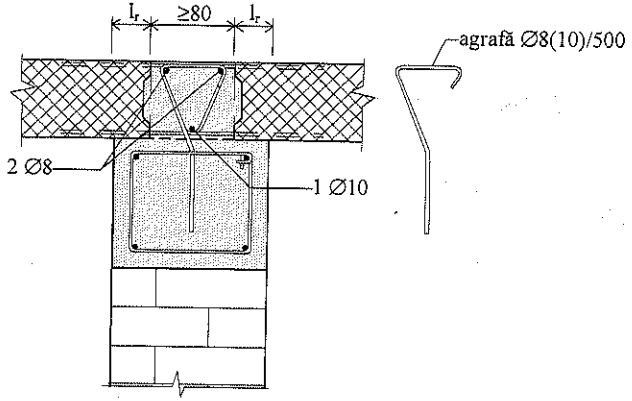


Fig. 5.5

se efectua prin intermediul unei tălpi superioare. Astfel se poate mări înălţimea grinzii în exploatare, iar etrierii care ies din grinda prefabricată au rol şi de conectori, asigurând conlucrarea betonului din îmbinare cu cel din grindă. La montaj grinda va lucra ca o secţiune T cu înălţimea h_g^m, iar în exploatare ca o secţiune dreptunghiulară de înălţime h_g^e.

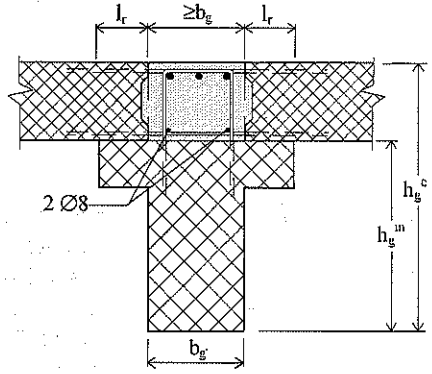


Fig. 5.6

Rezemarea pe diafragme monolite din beton armat se poate face la faţa elementelor verticale, fără rezemarea directă a plăcii pe diafragmă (fig. 5.7). Prin această soluţie nu mai este necesară deflectarea armăturilor de continuizare a elementelor verticale. Forţa tăietoare este preluată prin efectul de împănare, în acest scop feţele laterale de rezemare ale panourilor prefabricate fiind înclinate. Astfel, barele buclelor ancorate în panourile prefabricate de planşeu cu cel puţin lungimea de ancorare trebuie să preia întinderea întinderea rezultată din echilibrul forţelor, compresiunea fiind preluată de beton. Aria necesară a acestora este:

$$A_a = \frac{I}{R_a} = \frac{Q}{R_a tg\alpha} \qquad (5.1)$$

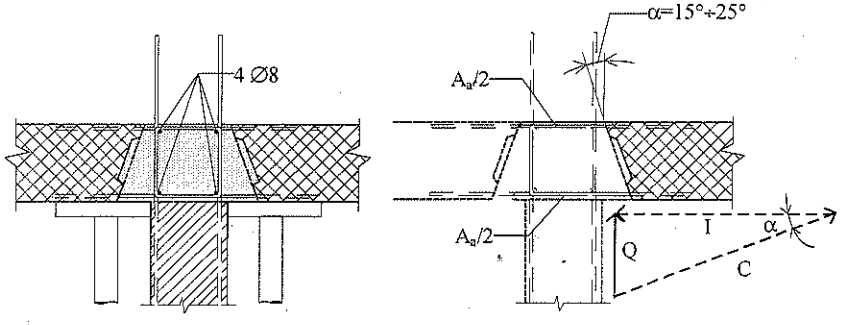


Fig. 5.7

Rezemarea fără continuitate la structurile prefabricate din panouri mari se face ca în figura 5.8. Din panourile prefabricate de planşeu ies mustăţi care se suprapun în îmbinare. Mustăţile sunt înglobate în plăcile prefabricate cu lungimea de ancorare. Transmiterea eforturilor verticale în îmbinare se poate rezolva prin oricare din cele trei procedee menţionate (ud, uscat sau mixt).

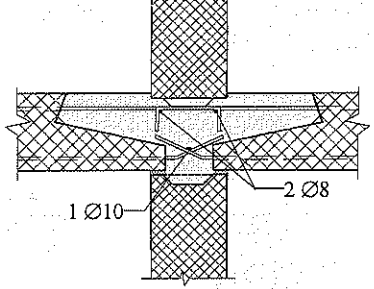


Fig. 5.8

Continuizarea panourilor prefabricate se poate face cu bucle sau prin sudură. Dacă continuizarea eforturilor în îmbinare se face cu bucle (fig. 5.9), spre deosebire de cazul rezemării fără continuitate, barele vor servi şi la preluarea acţiunii momentului încovoietor. Astfel, ele vor fi înglobate în prefabricate pe lungimi mai mari decât cele corespunzătoare lungimii de ancorare. Dacă rezemarea se face la faţa elementului (ca în figura 5.7), aria buclelor se va suplimenta pentru a prelua şi eforturile de întindere datorate acţiunii forţei tăietoare. Continuizarea prin sudură a panourilor prefabricate de planşeu se face prin suprapunere, ca în figura 5.10.

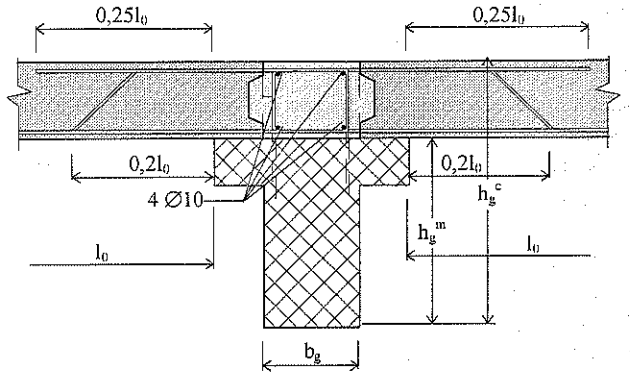


Fig. 5.9

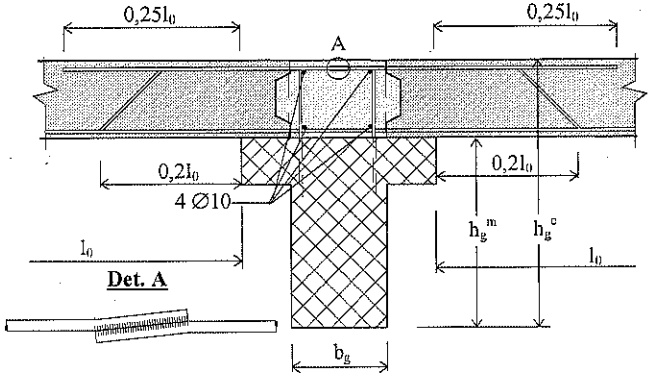
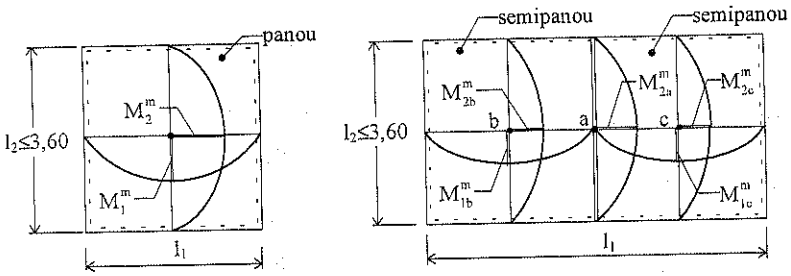


Fig. 5.10

Calculul static al planşeelor din panouri şi semipanouri prefabricate (panouri independente sau continue) se efectuează pe două scheme statice, corespunzătoare fazelor de montaj şi respectiv exploatare. Schemele de rezemare şi încărcare corespunzătoare fazelor de montaj şi exploatare se consideră după cum urmează:

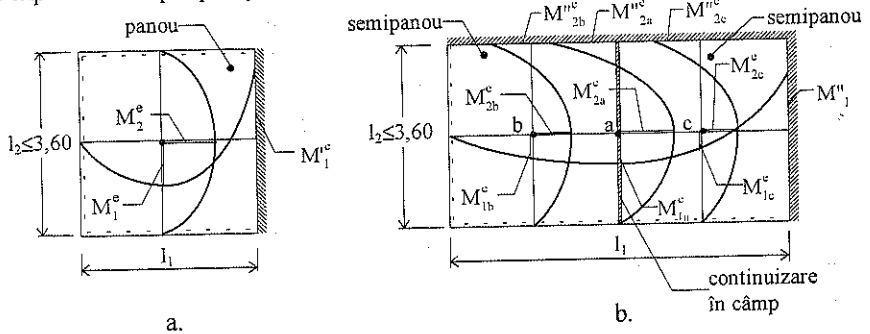
- în faza de montaj panourile prefabricate sunt simplu rezemate pe contur (fig. 5.11.a), cu excepţia semipanourilor care reazemă doar pe trei laturi (fig. 5.11.b); încărcarea corespunzătoare fazei de montaj este dată de greutatea proprie a panoului prefabricat;



a. b.

Fig. 5.11

- în exploatare, schema statică (fig. 5.12) a panourilor unui planşeu corespunde celei finale concepută de către proiectant (panou independent de placă cu mai multe moduri de rezemare posibile, placă continuă); încărcarea corespunzătoare fazei de exploatare conţine toate încărcările permanente aplicate după întărirea betonului din îmbinările de pe contur ale panoului prefabricat şi încărcările variabile care acţionează în exploatare asupra planşeului.



a. b.

Fig. 5.12

Determinarea distribuţiei eforturilor pe cele două scheme statice se poate efectua printr-un calcul static în domeniul elastic, calcul static simplificat în domeniul plastic prin metoda echilibrului limită sau printr-un calcul static în domeniul plastic prin modificarea rezultatelor calculului în domeniul elastic. Momentele finale se găsesc prin însumarea momentelor obţinute pe cele două scheme statice şi de încărcare. De exemplu, pentru panoul de placă din figurile 5.11.a şi 5.12.a, momentele de dimensionare sunt:

- în câmp, pe direcţiile 1 şi 2:

$$M_1 = M_1^m + M_1^e$$
$$M_2 = M_2^m + M_2^e \qquad (5.2)$$

$$M'_1 = M'^{m}_1 + M'^{e}_1 = 0 + M'^{e}_1 = M'^{e}_1 \qquad (5.3)$$

Pentru trama din figurile 5.11.b şi 5.12.b, momentele de calcul sunt:

• în câmp:

$$\begin{cases} M_{1a} = M^{m}_{1a} + M^{e}_{1a} = 0 + M^{e}_{1a} = M^{e}_{1a} \\ M_{2a} = M^{m}_{2a} + M^{e}_{2a} \end{cases}$$

$$\begin{cases} M_{1b} = M^{m}_{1b} + M^{e}_{1b} \\ M_{2b} = M^{m}_{2b} + M^{e}_{2b} \end{cases} \qquad (5.4)$$

$$\begin{cases} M_{1c} = M^{m}_{1c} + M^{e}_{1c} \\ M_{2c} = M^{m}_{2c} + M^{e}_{2c} \end{cases}$$

• pe reazemul încastrat 1":

$$M''_1 = M''^{m}_1 + M''^{e}_1 = 0 + M''^{e}_1 = M''^{e}_1 \qquad (5.5)$$

• pe reazemul încastrat 2":

$$M''_{2a} = M''^{m}_{2a} + M''^{e}_{2a} = 0 + M''^{e}_{2a} = M''^{e}_{2a}$$

$$M''_{2b} = M''^{m}_{2b} + M''^{e}_{2b} = 0 + M''^{e}_{2b} = M''^{e}_{2b} \qquad (5.6)$$

$$M''_{2c} = M''^{m}_{2c} + M''^{e}_{2c} = 0 + M''^{e}_{2c} = M''^{e}_{2c}$$

Calculul static al plăcilor prefabricate prezintă o serie de particularităţi în raport cu cel efectuat la plăcile monolite. Astfel:

• pentru *calculul static în domeniul elastic al plăcilor prefabricate continue monolitizate în îmbinări*:

– la prima schemă de rezemare şi încărcare (vezi paragraful 4.1.1), încărcarea convenţională de calcul se consideră:

$$q' = g' + p/2 \qquad (5.7)$$

unde g' este încărcarea permanentă de calcul, pe unitatea de suprafaţă, aplicată după intrarea în lucru a îmbinărilor de continuitate pe reazeme, iar p este încărcarea temporară de calcul pe unitatea de suprafaţă;

– la cea de a doua schemă de rezemare şi încărcare, încărcarea convenţională de calcul este:

$$q'' = g'' \pm p/2 \qquad (5.8)$$

unde g" este încărcarea permanentă de calcul aplicată înainte de intrarea în lucru a îmbinărilor de continuitate, iar $\pm p/2$ este încărcarea temporară dirijată alternant gravitaţional şi respectiv antigravitaţional, în conformitate cu prevederile paragrafului 4.1.1.

• pentru *calculul simplificat în domeniul plastic prin metoda echilibrului limită a panourilor prefabricate independente*:

– la panourile independente rezemate pe patru laturi, valorile rapoartelor între momentele de calcul se consideră aceleaşi ca şi în cazul panourilor plăcilor monolite (vezi paragraful 3.2.2);

– la panourile plăcilor rezemate pe trei laturi (vezi subcapitolul 3.2.3), valorile raportului M_2/M_1 se iau între limitele cuprinse în tabelul 3.12, iar valorile optime se pot stabili pe baza figurilor 3.9-3.12 şi a tabelelor 3.7-3.10; valorile rapoartelor M_1/M'_1, M_1/M''_1 şi M_2/M''_2 se iau între limitele din tabelul 3.12 înmulţite cu 2, fiind recomandate valori înspre limita inferioară când $g/p \le 1$, unde g este încărcarea permanentă totală de calcul care acţionează asupra panoului de placă.

subcapitolul 4.2), se consideră următoarele valori ale rapoartelor între momentele încovoietoare de calcul:

– valorile raportului dintre momentele în câmp M^{x}_{ij}/M^{y}_{ij} la panourile rezemate pe patru laturi se iau ca şi în cazul plăcilor independente, în funcţie de raportul $\lambda = l_{yj}/l_{xi}$, între limitele prezentate în tabelul 3.11;

– valorile rapoartelor între momentele din câmp şi cele de pe reazeme pe câte o direcţie M^{x}_{ij}/M'^{x}_{ij}, M^{x}_{ij}/M''^{x}_{ij}, M^{y}_{ij}/M'^{y}_{ij} şi M^{y}_{ij}/M''^{y}_{ij}, la panourile rezemate pe patru laturi, se recomandă să fie între 1,0 şi 2,0 fiind recomandate valorile înspre limita inferioară pentru $g/p \le 1$.

Calculul static în domeniul plastic prin modificarea rezultatelor calculului în domeniul elastic se poate efectua doar pentru schema de rezemare şi încărcare din exploatare, deci după intrarea în lucru a îmbinărilor. Prevederile de calcul sunt aceleaşi ca şi în cazul plăcilor monolite, prezentate în subcapitolele 3.3 şi 4.3.

Plăcile prefabricate de beton armat trebuie verificate la starea limită de rezistenţă în condiţiile fazei de manipulare (fig. 5.13). La manipulare placa are reazeme punctuale, acestea fiind date de regulă de 4 urechi de agăţare. Eforturile se calculează considerând un coeficient dinamic al încărcării ψ=1,5 (aplicat greutăţii panoului de placă). Având în vedere că la decofrarea panoului de placă betonul are o rezistenţă la compresiune uniaxială de circa (70-75)% din rezistenţa la vârsta de 28 de zile, rezistenţa de calcul cu care se va efectua verificarea se consideră $0,7R_c$. Se recomandă ca armăturile rezultate din calculul la starea limită de rezistenţă, în schemele statice de plăci simplu rezemate şi apoi eventual continuizate, să fie suficiente şi în faza de manipulare. În caz contrar, se vor dispune armături suplimentare, de regulă în fâşiile de contur.

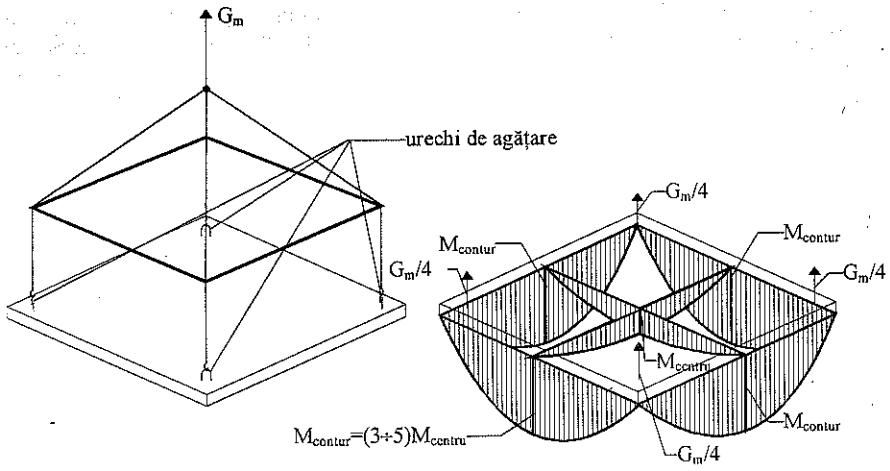


Fig. 5.13

Placa se poate verifica cu ajutorul relaţiilor de calcul obţinute de teoria elasticităţii. Pentru placa dreptunghiulară cu reazeme punctuale în colţuri (fig.5.14), momentele în secţiunile critice se calculează cu relaţiile:

• în centrul panoului pe direcţia 1:

$$M_1 = k_1 \cdot g \cdot l_1^2 \qquad (5.8)$$

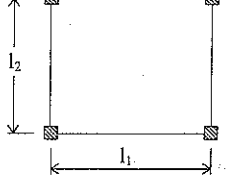


Fig. 5.14

$$M_{1c} = k'_1 \cdot g \cdot l_1^2 \quad (5.9)$$

- în centrul panoului pe direcția 2:

$$M_2 = k_2 \cdot g \cdot l_2^2 \quad (5.10)$$

- la mijlocul laturilor de margine paralele cu direcția 2:

$$M_{2c} = k'_2 \cdot g \cdot l_2^2 \quad (5.11)$$

- momentele de torsiune la colțuri:

$$M_{12} = \pm 0{,}125 \cdot g \cdot l_1 \cdot l_2 \quad (5.12)$$

Valorile coeficienților de calcul k_1, k'_1, k_2 și k'_2 sunt date în tabelul 5.1.

Tab. 5.1

l_2/l_1	k_1	k'_1	k_2	k'_2
0,50	0,1218	0,1300	0,0608	0,2620
0,55	0,1213	0,1322	0,0677	0,2416
0,60	0,1206	0,1345	0,0749	0,2251
0,65	0,1198	0,1369	0,0806	0,2114
0,70	0,1188	0,1395	0,0858	0,1996
0,75	0,1176	0,1425	0,0906	0,1901
0,80	0,1161	0,1459	0,0948	0,1821
0,85	0,1143	0,1494	0,0986	0,1752
0,90	0,1120	0,1532	0,1013	0,1695
0,95	0,1091	0,1568	0,1036	0,1644
1,00	0,1055	0,1604	0,1055	0,1604

Urechile de manipulare se confecționează din oțel ductil de tip OB 37. Pentru a preveni smulgerea și cedarea bruscă a urechilor, diametrul lor minim este de 10 mm și ancorarea lor în panoul de placă se face cu lungimea de ancorare corespunzătoare zonelor întinse. Dimensionarea urechilor se efectuează în mod simplificat, considerându-le solicitate doar la întindere. Având în vedere că starea de eforturi în acestea este mai complexă (după cum se observă și în figura 5.15, secțiunile adiacente cârligului dispozitivului de prindere sunt solicitate și la eforturi de forfecare mari), efortul unitar admisibil este σ_a=80 MPa. Aria necesară se calculează în consecință cu relația:

$$A_{ureche} = \frac{\psi \cdot G_m}{2\sigma_a \cdot n_u} \quad (5.13)$$

unde n_u este numărul urechilor de agățare, G_m este greutatea panoului prefabricat și ψ=1,5 este coeficientul dinamic al încărcării.

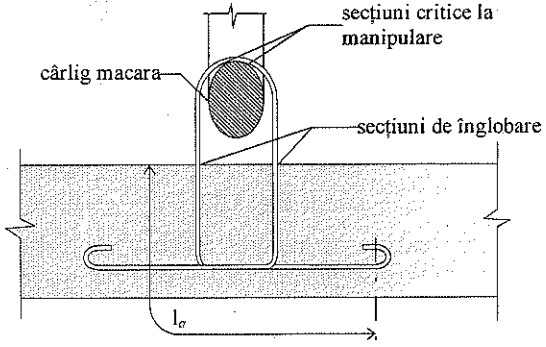


Fig. 5.15

Exemplul 5.4.1

Să se proiecteze placa planșeului de acoperiș din figura 5.16 în variantă prefabricată, fără continuizarea eforturilor pe reazemele intermediare. Greutatea subansamblului termohidroizolației este 2,56 kN/m^2, iar intensitatea normată (I^n) a greutății stratului de zăpadă este de 1,20 kN/m^2 [6].

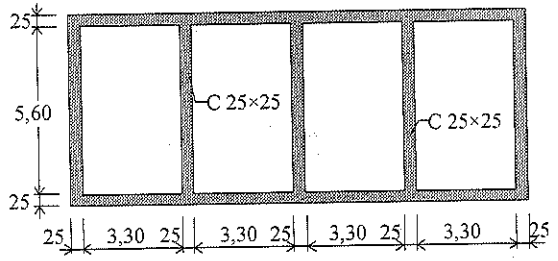


Fig. 5.16

Sistemul constructiv

- grosimea minimă recomandată (p. 1.3.2):

$$h_{pmin} = \begin{cases} l_{min}/40 = 3.300/40 = 82{,}5 \text{ mm} \\ 60 \text{ mm} \end{cases};$$

- se adoptă h_p=90 mm;
- deoarece greutatea unui panou cu dimensiunile 3,50×5,80×0,09 depășește capacitatea de ridicare a utilajului disponibil, tramele vor fi acoperite cu semipanouri prefabricate; fiindcă deschiderile tuturor tramelor sunt egale și nu se efectuează continuizarea pe reazeme, se va proiecta un singur tip de semipanou (fig. 5.17).

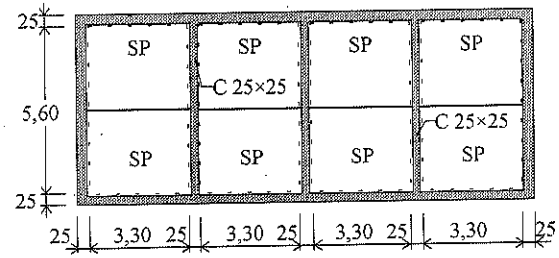


Fig. 5.16

Acțiuni

Denumirea acțiunii	I^n (kN/m^2)	γ_1	A^n (kN/m^2)	$\frac{n^d}{\gamma_0}$	A^{Id} (kN/m^2)	$\frac{n}{\gamma_F}$	A (kN/m^2)
Acțiuni permanente la montaj - greutatea proprie a plăcii: 0,09m×25,0kN/m^3			2,25	1,0	2,25	1,1	2,48
ÎNCĂRCAREA TOTALĂ LA MONTAJ			q^n_m =2,25		q^{Id}_m =2,25		q_m=2,48
Acțiuni permanente în exploatare - greutate termo-hidroizolație: 2,56kN/m^2			2,56	1,0	2,56	1,3	3,33
Acțiuni temporare - greutatea zăpezii: 1,20kN/m^2	1,20	0,8	0,96	0,35	0,42	0,9	1,08
ÎNCĂRCAREA TOTALĂ ÎN EXPLOATARE			q^n_e =3,52		q^{Id}_e =2,98		q_e=4,41

• pentru un diametru maxim al armăturii de rezistență apreciat la 8 mm, în conformitate cu prevederile subcapitolului 5.2, lungimea de rezemare se consideră l_r=80 mm;

• în faza de montaj schema statică (fig. 5.18.a) a unui semipanou este de placă simplu rezemată pe trei laturi şi liberă pe cea de patra; deschiderile de calcul ale semipanoului prefabricat (vezi fig. 1.2.c) se calculează cu relația (1.1) din paragraful 1.2.1:

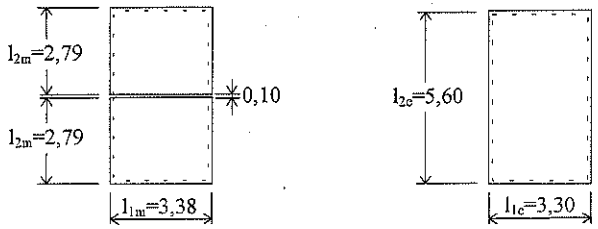
$$\Delta = \frac{h_p}{2} = \frac{90}{2} = 45 \text{ mm} > \frac{l_r}{2} = \frac{80}{2} = 40 \text{ mm} \Rightarrow \Delta = 40 \text{ mm}$$

$$\Rightarrow l_{1m} = l_{01} + 2\Delta = 3{,}30 + 2\times 0{,}04 = 3{,}38 \text{ m}$$

$$l_{2m} = \frac{l_{02}}{2} - \frac{0{,}10}{2} + \Delta = \frac{5{,}60}{2} - \frac{0{,}10}{2} + 0{,}04 = 2{,}79 \text{ m}$$

• schema statică în exploatare (fig. 5.18.b) este de placă simplu rezemată pe contur; având în vedere monolitismul legăturilor în exploatare după continuizarea semipanourilor în câmpul plăcii, deschiderile de calcul sunt (p. 1.2.1):

$l_{1e}=l_{xe}$=3,30 m $l_{2e}=l_{ye}$=5,60 m



a. b.

Fig. 5.18

Calculul static

• calculul se va efectua în domeniul elastic atât pentru faza de montaj cât şi pentru faza de exploatare;

• momentele de dimensionare în faza de montaj (fig. 5.19) se calculează cu coeficienții din tabelul 3.7 (fig. 3.9) pentru $\lambda = l_{2m}/l_{1m} = 2{,}79/3{,}38 = 0{,}83$:

$$M_{1a}^m = \alpha_{11}^0 \cdot q_m \cdot l_{1m}^2 = 0{,}0945\times 2{,}48\times 3{,}38^2 = +2{,}67 \text{ kNm}$$

$$M_{1b}^m = \alpha_{11} \cdot q_m \cdot l_{1m}^2 = 0{,}0632\times 2{,}48\times 3{,}38^2 = +1{,}79 \text{ kNm}$$

$$M_{2b}^m = \alpha_{12} \cdot q_m \cdot l_{2m}^2 = 0{,}0306\times 2{,}48\times 2{,}79^2 = +0{,}59 \text{ kNm}$$

• în exploatare (fig. 5.20), momentele de calcul pe direcția 1 pentru $\lambda = l_{2e}/l_{1e} = 5{,}60/3{,}30 = 1{,}70$ se calculează cu ajutorul coeficienților de calcul din tabelul 3.1 (fig. 3.2):

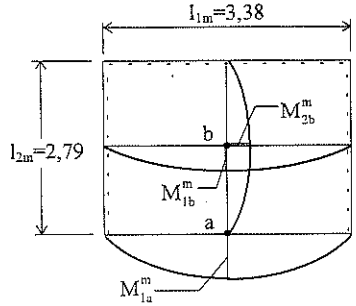


Fig. 5.19

$$M_{1a}^e = M_{1b}^e = \alpha_{11} \cdot q_e \cdot l_{1e}^2 = 0{,}0829\times 4{,}41\times 3{,}30^2 = +3{,}98 \text{ kNm}$$

• pe direcția 2, momentul de calcul în secțiunea a şi încărcarea corespunzătoare fâşiilor de lățime unitară de pe direcția 2 sunt:

$$M_{2a}^e = \alpha_{12} \cdot q_e \cdot l_{2e}^2 = 0{,}0099\times 4{,}41\times 5{,}60^2 = +1{,}37 \text{ kNm}$$

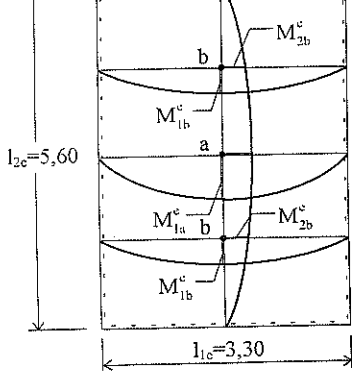


Fig. 5.20

• în secțiunile b, momentul încovoietor necorectat pe direcția 2, se calculează ca pentru o grindă simplu rezemată cu deschiderea de calcul l_{2e}, acționată de încărcarea uniform distribuită q_{2e}:

$$M_{2b}^{e0} = \frac{1}{2} q_{2e} \cdot l_2 \cdot \frac{l_{2e}}{4} - q_{2e} \cdot \frac{l_{2e}}{4} \cdot \frac{l_{2e}}{8} =$$

$$= \frac{1}{2}\times 0{,}47\times 5{,}60\times \frac{5{,}60}{4} - 0{,}47\times \frac{5{,}60}{4}\times \frac{5{,}60}{8} =$$

$$= +1{,}38 \text{ kNm}$$

• momentul în secțiunile b se corectează cu acelaşi coeficient ca şi valoarea momentului din secțiunea a; în consecință, valoarea de calcul a momentului încovoietor în secțiunile b va fi:

$$M_{2b}^e = M_{2b}^{e0} \cdot \frac{M_{2a}^e}{\frac{q_{2e} \cdot l_{2e}^2}{8}} = 1{,}38\times \frac{1{,}37}{\frac{0{,}47\times 5{,}60^2}{8}} = +1{,}03 \text{ kNm}$$

• momentele totale de dimensionare vor fi egale cu suma momentelor de calcul rezultate din faza de montaj şi respectiv exploatare:

$$M_{1a} = M_{1a}^m + M_{1a}^e = 2{,}67 + 3{,}98 = +6{,}65 \text{ kNm}$$

$$M_{2a} = M_{2a}^m + M_{2a}^e = 0{,}00 + 1{,}37 = +1{,}37 \text{ kNm}$$

$$M_{1b} = M_{1b}^m + M_{1b}^e = 1{,}79 + 3{,}98 = +5{,}77 \text{ kNm}$$

$$M_{2b} = M_{2b}^m + M_{2b}^e = 0{,}59 + 1{,}03 = +1{,}62 \text{ kNm}$$

• laturile efective ale semipanourilor sunt:

$$l_{1ef} = l_{01} + 2l_r = 3{,}30 + 2\times 0{,}08 = 3{,}46 \text{ m}$$

$$l_{2ef} = l_{02}/2 - 0{,}10/2 + l_r = 5{,}60/2 - 0{,}10/2 + 0{,}08 = 2{,}83 \text{ m}$$

• considerând că deschiderile de calcul în faza de manipulare sunt aproximativ egale cu dimensiunile efective ale semipanourilor, pentru $\lambda = l_2/l_1 = l_{2ef}/l_{1ef} = 2{,}83/3{,}46 = 0{,}82$ şi $g_p^n = q_m^n = 2{,}25$ kN / m, momentele de calcul (fig. 5.21) sunt:

$$M_{1b}^0 = k_1 \cdot \psi \cdot g_p^n \cdot l_{1ef}^2 = 0{,}1157\times 1{,}5\times 2{,}25\times 3{,}46^2 = +4{,}67 \text{ kNm}$$

$$M_{1a}^0 = k'_1 \cdot \psi \cdot g_p^n \cdot l_{1ef}^2 = 0{,}1466\times 1{,}5\times 2{,}25\times 3{,}46^2 = +5{,}92 \text{ kNm}$$

$$M_{2b}^0 = k_2 \cdot \psi \cdot g_p^n \cdot l_{2ef}^2 = 0{,}0956\times 1{,}5\times 2{,}25\times 2{,}83^2 = +2{,}58 \text{ kNm}$$

$$M_{2c}^0 = k'_2 \cdot \psi \cdot g_p^n \cdot l_{2ef}^2 = 0{,}1717\times 1{,}5\times 2{,}25\times 2{,}83^2 = +4{,}64 \text{ kNm}$$

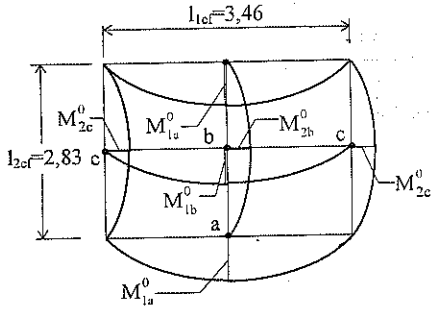


Fig. 5.21

urmează:

– pe direcția 1: $M_1 = M_{1a} = +6{,}65$ kNm;

– pe direcția 2: $M_2 = M_{2b}^0 = +2{,}58$ kNm în fâșiile centrale de lățime unitară, respectiv $M_{2'} = M_{2c}^0 = +4{,}64$ kNm în fâșiile de margine cu lățimea unitară;

Dimensionarea

Materiale

• beton Bc 15, cu $R_{ck} = 12{,}50$ MPa, $R_{tk} = 1{,}19$ MPa (anexa II, tab. II.1):

– $R_c^* = 9{,}50$ MPa, $m_{bc}=1{,}0$, $R_t^* = 1{,}19$ MPa, $m_{bt}=1{,}0$ (anexa II, tab. II.1):

$$R_c = m_{bc} \cdot R_c^* = 1{,}0 \times 9{,}50 = 9{,}50 \text{ MPa}$$

$$R_t = m_{bt} \cdot R_t^* = 1{,}0 \times 0{,}80 = 0{,}80 \text{ MPa}$$

• având în vedere că pe direcția 2 momentele de dimensionare provin din calculul la manipulare, dimensionarea pe direcția 2 se va efectua considerând o rezistență de calcul a betonului $0{,}7R_c$;

• oțel PC 52, cu $R_{ak} = 355$ MPa (anexa II, tab. II.2):

– $R_a^* = 300$ MPa, $m_a=1{,}0$ (anexa II, tab. II.2):

$$R_a = m_a \cdot R_a^* = 1{,}0 \times 300 = 300 \text{ MPa}$$

Mărimi geometrice ale secțiunii

• pentru plăci din categoria I-a din punctul de vedere al condițiilor de expunere:

$$a \geq \begin{cases} 20 \text{ mm (p.1.3.1, tab. 1.1)} \\ 1{,}2d_{max} \cong 1{,}2 \times 8 = 9{,}6 \text{ mm (p.1.3.1)} \end{cases} \Rightarrow a = 20 \text{ mm}$$

• înălțimile utile ale plăcii prefabricate:

– pe direcția 1: $h_{01} = h_p - \left(a + \frac{d_1}{2}\right) \cong 90 - \left(20 + \frac{8}{2}\right) = 66$ mm

– pe direcția 2: $h_{02} = h_p - \left(a + d_1 + \frac{d_2}{2}\right) \cong 90 - \left(20 + 8 + \frac{8}{2}\right) = 58$ mm

Armarea panourilor în câmp

• direcția 1

$$m_1 = \frac{M_1}{b \cdot h_{01}^2 \cdot R_c} = \frac{6{,}65 \times 10^6}{1.000 \times 66^2 \times 9{,}50} = 0{,}1607 < m_b = 0{,}4$$

$$\Rightarrow p_1^c = p_1 = 0{,}558\% > 0{,}100\%$$

$$A_{a1} = \frac{p_1}{100} b \cdot h_{01} = \frac{0{,}558}{100} \times 1.000 \times 66 = 368 \text{ mm}^2$$

$$A_{a1}^{ef} = 402 \text{ mm}^2 \ (8\ \varnothing 8/\text{m})$$

• direcția 2

– în fâșiile centrale:

$$m_2 = \frac{M_2}{b \cdot h_{02}^2 \cdot 0{,}7R_c} = \frac{2{,}58 \times 10^6}{1.000 \times 58^2 \times 0{,}7 \times 9{,}50} = 0{,}1153 < m_b = 0{,}4$$

$$\Rightarrow p_2^c = p_2 = 0{,}272\% > 0{,}100\%$$

$$A_{a2} = \frac{p_2}{100} b \cdot h_{02} = \frac{0{,}272}{100} \times 1.000 \times 58 = 158 \text{ mm}^2$$

$$A_{a2}^{ef} = 170 \text{ mm}^2 \ (6\ \varnothing 6/\text{m})$$

– în fâșiile de margine:

$$m_{2'} = \frac{M_{2'}}{b \cdot h_{02}^2 \cdot 0{,}7R_c} = \frac{4{,}64 \times 10^6}{1.000 \times 58^2 \times 0{,}7 \times 9{,}50} = 0{,}2074 < m_b = 0{,}4$$

$$\Rightarrow p_{2'}^c = p_{2'} = 0{,}521\% > 0{,}100\%$$

$$A_{a2'} = \frac{p_{2'}}{100} b \cdot h_{02} = \frac{0{,}521}{100} \times 1.000 \times 58 = 302 \text{ mm}^2$$

$$A_{a2'}^{ef} = 302 \text{ mm}^2 \ (6\ \varnothing 8/\text{m})$$

Calculul urechilor de manipulare

• cu ajutorul relației (5.13) se calculează aria necesară pentru urechile de manipulare:

$$A_{ureche} = \frac{\psi \cdot g_p^n \cdot l_{1ef} \cdot l_{2ef}}{2\sigma_a \cdot n_u} = \frac{1{,}5 \times 2{,}25 \times 10^3 \times 3{,}46 \times 2{,}83}{2 \times 80 \times 4} = 51{,}6 \text{ mm}^2$$

Se alege $\varnothing 10$ cu $A_{ureche}^{ef} = 78{,}6$ mm^2.

Schița de armare (fig. 5.22)

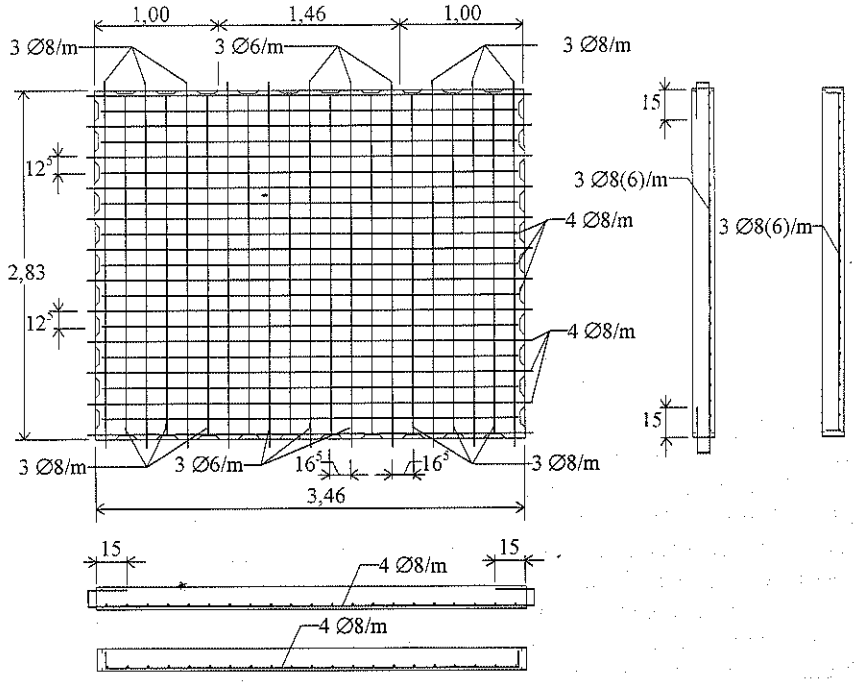


Fig. 5.22

6. CALCULUL PLĂCILOR DE BETON ARMAT PE BAZA PREVEDERILOR EUROCODULUI EC 2

6.1 Domeniu

Pentru ca un element să fie considerat placă, deschiderea lui minimă trebuie să fie mai mare decât de patru ori grosimea totală. O placă supusă la încărcări uniform distribuite poate fi considerată ca lucrând pe o direcție dacă are două muchii nerezemate şi sensibil paralele sau dacă constituie partea centrală, pe direcția scurtă, a unei plăci dreptunghiulare rezemată pe patru laturi, cu un raport dintre latura lungă şi cea scurtă mai mare decât 2.

Plăcile cu nervuri dese sau casetate pot fi tratate ca plăci pline în scopul efectuării calculului, cu condiția ca talpa sau placa structurală superioară şi nervurile transversale să aibă suficientă rigiditate la torsiune. Aceasta se poate admite cu următoarele condiții:

- distanța între nervuri ≤1500 mm;
- înălțimea nervurii de sub talpă ≤ patru ori lățimea sa;
- înălțimea tălpii ≥1/10 lumina între nervuri sau 50 mm, oricare este mai mare;
- sunt prevăzute nervuri transversale la o distanță ≤10 ori grosimea totală a plăcii;
- grosimea minimă a tălpii, de 50 mm, poate fi redusă la 40 mm, acolo unde sunt înglobate corpuri de umplutură între nervuri.

Plăcile armate pe o direcție, supuse în principal unei încărcări uniform distribuite, pot fi calculate ca grinzi cu o deschidere sau ca grinzi continui.

6.2 Metode de calcul acceptabile

Se pot folosi următoarele metode de calcul:

a) calcul liniar cu sau fără redistribuire;

b) calcul plastic bazat fie pe metoda cinematică (limită superioară), fie pe metoda statică (limită inferioară);

c) metode numerice luând în considerare proprietățile neliniare ale materialelor.

Metodele de calcul liniar se aplică atât stărilor limită de serviciu cât şi stărilor limită ultime; metodele plastice, cu gradul lor ridicat de simplificare, trebuie folosite doar pentru stările limită ultime. Metodele obişnuite de calcul plastic sunt: teoria echilibrului limită (metoda cinematică) şi metoda fâşiilor (metoda statică).

6.3 Calculul liniar cu sau fără redistribuire

Momentele calculate folosind calculul elastic liniar pot fi redistribuite cu condiția ca distribuția de momente rezultată să rămână în echilibru cu încărcările aplicate.

satisfăcute următoarele condiții:

a) pentru clase de beton ≤C 35/45	$\delta \geq 0{,}44+1{,}25x/d$
pentru clase de beton >C35/45	$\delta \geq 0{,}56+1{,}25x/d$
b) pentru oțel cu ductilitate ridicată	$\delta \geq 0{,}7$
pentru oțel cu ductilitate obişnuită	$\delta \geq 0{,}85$

unde:

- δ este raportul dintre momentul redistribuit şi momentul înainte de distribuție;
- x este înălțimea zonei comprimate de beton la starea limită ultimă după redistribuire;
- d este înălțimea utilă a secțiunii.

La plăcile definite în aliniatul precedent unde nu s-a efectuat nici o redistribuire, raportul x/d nu trebuie să depăşească valorile:

- x/d = 0,45 pentru beton de la clasa C12/15 până la C35/45
- x/d = 0,35 pentru beton clasa C40/45 şi mai mare,

în secțiunea critică, decât dacă se prevăd măsuri speciale de armare (de exemplu confinare).

Pentru determinarea forței tăietoare, a torsiunii şi a reacțiunii pe reazem se poate utiliza o interpolare liniară între efectele acțiunii unei margini complet încastrată şi cele ale unei margini simplu rezemată.

6.4 Metode de calcul plastic

Metoda plastică, fără o verificare directă a capacității de rotire, poate fi folosită pentru starea limită ultimă dacă se îndeplinesc condițiile de ductilitate adecvate.

Când se utilizează calculul plastic, aria armăturii întinse nu trebuie să depăşească în nici un loc sau direcție valoarea x/d=0,25.

O verificare a capacității de rotire nu este necesară pentru armături din oțel cu ductilitate ridicată. Oțelul cu ductilitate normală nu va fi folosit decât dacă utilizarea lui poate fi justificată.

Pentru metoda cinematică se va examina o varietate de mecanisme posibile considerând valorile de calcul ale proprietăților materialelor corespunzătoare stării limită ultime.

Raportul momentelor încovoietoare pe reazemele continue față de cele din câmpuri va fi cuprins între 0,5 şi 2,0.

Când se folosesc metode statice de calcul plastic, poate fi convenabil să se determine distribuția momentelor pe baza unui calcul liniar şi să se dimensioneze armarea pe o interpretare plastică a acestei distribuții, cu satisfacerea condițiilor de echilibru.

6.5 Metode numerice de calcul neliniar

În Anexa 2 la EC 2 [7], în capitolele A.2.0, A.2.1, A.2.2, A.2.6 şi A.2.8 sunt expuse principiile de calcul numeric neliniar şi de armare a plăcilor.

După cum se observă, EC 2 nu pune la îndemâna proiectanților metode practice de calcul ci numai metode generale, cu regulile şi limitările lor.

În completarea EC 2, British Cement Association a publicat în iulie 1993 CONCISE EUROCODE (CE) [8] pentru proiectarea construcțiilor de beton armat, în care se dau metode simplificate şi coeficienții pentru calculul momentelor încovoietoare şi a forțelor tăietoare pentru plăci armate pe una şi pe două direcții.

Întrucât EC 2 permite utilizarea de metode simplificate, iar cele expuse în CONCISE EUROCODE (CE) sunt uşor de aplicat în proiectarea curentă, acestea se vor dezvolta în cele ce urmează.

6.6.1 Calculul plăcilor continue, armate pe o direcție

Plăcile continue armate pe o direcție pot fi calculate ca grinzi continue cu aplicarea regulilor mecanicii construcțiilor.

În cazul utilizării tabelului 6.1, momentele de pe reazeme pot fi reduse la $0,09Fl^2$ pe primul reazem intermediar şi la $0,07Fl^2$ la restul reazemelor. Calculul simplificat în domeniul plastic se poate efectua în cazul utilizării armăturilor de ductilitate ridicată (clasa H) şi dacă raportul $x/d \le 0,25$.

Tabelul 6.1

Poziția / Solicitarea	Reazeme capăt	Câmpuri marginale	Primele reazeme intermediare	Câmpuri intermediare	Reazeme intermediare
Momente încovoietoare	0	$0,09Fl^2$	$0,11Fl^2$	$0,07Fl^2$	$0,10Fl^2$
Forțe tăietoare	0,45Fl	-	0,60Fl	-	0,55Fl

Notă:

- l este deschiderea efectivă pentru momentele în câmpuri şi deschiderea maximă adiacentă pentru momentele pe reazeme;
- F este încărcarea de calcul $F=1,35g_k+1,5q_k$ [N/m];
- nu trebuie efectuată nici o redistribuirea de momente.

6.6.2 Calculul plăcilor armate pe două direcții independente, rezemate pe patru laturi, cu colțurile fixate

Aceste plăci se pot calcula utilizând coeficienții din tabelele 6.2 şi 6.3, rezultați din calculul plastic. Acest calcul este permis de EC 2, în condițiile utilizării armăturilor cu ductilitate ridicată (clasa H) şi a raportului $x/d \le 0,25$.

Momentele de calcul se obțin cu relațiile:

$$M_{Sdx} = \beta_{sx} Fl_x^2 \text{ şi } M_{Sdy} = \beta_{sy} Fl_x^2 \qquad (6.1)$$

în care:

M_{Sdx} şi M_{Sdy} sunt momentele pe unitatea de lățime în zona centrală a plăcii constituită din 3/4 din dimensiunile ei pe direcțiile x, respectiv y;

$F=1,35g_k+1,5q_k$ este încărcarea de calcul;

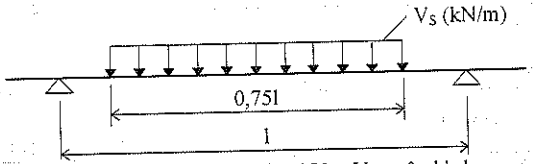
l_x este latura scurtă.

Forțele tăietoare maxime pe laturi se estimează cu relațiile:

$$V_{Sdx} = \beta_{vx} Fl_x \text{ şi } V_{Sdy} = \beta_{vy} Fl_x \qquad (6.2)$$

în care V_{Sdx} şi V_{Sdy} sunt forțele tăietoare pe unitatea de lățime pe reazemele

laturilor, cu valoarea forțelor tăietoare determinate la aliniatul precedent, conform figurii 6.1.



Notă: $V_S = V_{Sdx}$ când $l=l_y$ şi $V_S = V_{Sdy}$ când $l=l_x$.

Fig. 6.1

6.6.3 Calculul plăcilor continue armate pe două direcții

Cu referire la figura 6.2, plăcile continue se calculează ținându-se seama de încărcările, dimensiunile şi modurile de rezemare ale fiecărui panou de placă, utilizând coeficienții din tabelele 6.2 şi 6.3.

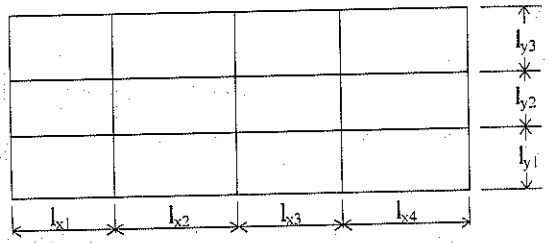


Fig. 6.2

Momentele rezultate sunt acceptabile când încărcările pe panourile adiacente panoului considerat sunt aproximativ egale şi deschiderile pe oricare direcție sunt aproximativ egale. Atunci când aceste condiții nu se respectă, valorile momentelor calculate cu ajutorul tabelelor 6.2 şi 6.3 necesită corecții.

Pentru efectuarea acestor corecții se poate utiliza următorul procedeu:

a) se calculează momentele pe reazeme conform tabelului 6.2 pentru toate panourile de plăci pe o direcție, aceste valori considerându-se momente de încastrare perfectă pe laturi şi se face o redistribuție a lor în funcție de rigiditatea relativă a panourilor;

b) considerând că diagrama de momente este parabolică, se corectează momentele din câmpuri în concordanță cu valorile modificate ale momentelor pe reazeme şi cu respectarea echilibrului. Acesta se asigură dacă valoarea momentului total M_{St} dată de ecuația (6.3) rămâne aceeaşi înainte şi după corecțiile momentelor.

$$M_{St} = \frac{|M_{Sl}| + |M_{Sr}|}{2} + M_{Sc} \qquad (6.3)$$

în care:

M_{Sl} şi M_{Sr} sunt momentele din stânga, respectiv dreapta deschiderii considerate;

M_{Sc} este momentul din mijlocul deschiderii.

Procedeul descris, care trebuie aplicat pe una sau pe ambele direcții este ilustrat în figura 6.3 pentru placa din figura 6.2, pe direcția x a unui şir de panouri.

Tipul panoului şi momentele considerate	Coeficienţii pe deschiderea scurtă β_{sx}								Coeficienţii pe deschiderea lungă β_{sy} pentru toate valorile l_y / l_x
	Valorile raportului l_y / l_x								
	1,0	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	1,75	2,0	
Panouri interioare (încastrate pe contur)									
Moment negativ pe laturile încastrate	0,031	0,037	0,042	0,046	0,050	0,053	0,059	0,063	0,032
Moment pozitiv la mijlocul deschiderii	0,024	0,028	0,032	0,035	0,037	0,040	0,044	0,048	0,024
Panou cu o latură scurtă simplu rezemată									
Moment negativ pe laturile încastrate	0,039	0,044	0,048	0,052	0,055	0,058	0,063	0,067	0,037
Moment pozitiv la mijlocul deschiderii	0,029	0,033	0,036	0,039	0,041	0,043	0,047	0,050	0,028
Panou cu o latură lungă simplu rezemată									
Moment negativ pe laturile încastrate	0,039	0,049	0,056	0,062	0,068	0,073	0,082	0,089	0,037
Moment pozitiv la mijlocul deschiderilor	0,030	0,036	0,042	0,047	0,051	0,055	0,062	0,067	0,028
Panou cu două laturi adiacente simplu rezemate									
Moment negativ pe laturile încastrate	0,047	0,056	0,063	0,069	0,074	0,078	0,087	0,093	0,045
Moment pozitiv la mijlocul deschiderilor	0,036	0,042	0,047	0,051	0,055	0,059	0,065	0,070	0,034
Panouri cu laturile scurte simplu rezemate									
Moment negativ pe laturile încastrate	0,046	0,050	0,054	0,057	0,060	0,062	0,067	0,070	-
Moment pozitiv la mijlocul deschiderilor	0,034	0,038	0,040	0,043	0,045	0,047	0,050	0,053	0,034
Panouri cu laturile lungi simplu rezemate									
Moment negativ pe laturile încastrate	-	-	-	-	-	-	-	-	0,045
Moment pozitiv la mijlocul deschiderilor	0,034	0,046	0,056	0,065	0,072	0,078	0,091	0,100	0,034
Panouri cu o latură lungă încastrată									
Moment negativ pe latura încastrată	0,057	0,065	0,071	0,076	0,081	0,084	0,092	0,098	-
Moment pozitiv la mijlocul deschiderii	0,043	0,048	0,053	0,057	0,060	0,063	0,069	0,074	0,044
Panouri cu o latură scurtă încastrată									
Moment negativ pe latura încastrată	-	-	-	-	-	-	-	-	0,058
Moment pozitiv la mijlocul deschiderilor	0,042	0,054	0,063	0,071	0,078	0,084	0,096	0,105	0,044
Panou simplu rezemat pe contur									
Moment pozitiv la mijlocul deschiderilor	0,055	0,065	0,074	0,081	0,087	0,092	0,103	0,111	0,056

Tipul panoului şi latura considerată	β_{vx} pentru valorile raportului l_y / l_x								β_{vy}
	1,0	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	1,75	2,0	
Panouri interioare (încastrate pe contur)									
Laturile încastrate	0,33	0,36	0,39	0,41	0,43	0,45	0,48	0,50	0,33
Panou cu o latură scurtă simplu rezemată									
Laturile încastrate	0,36	0,39	0,42	0,44	0,45	0,47	0,50	0,52	0,36
Latura simplu rezemată	-	-	-	-	-	-	-	-	0,24
Panou cu o latură lungă simplu rezemată									
Laturile încastrate	0,36	0,40	0,44	0,47	0,49	0,51	0,55	0,59	0,36
Latura simplu rezemată	0,24	0,27	0,29	0,31	0,32	0,34	0,36	0,38	-
Panou cu două laturi adiacente simplu rezemate									
Laturile încastrate	0,40	0,44	0,47	0,50	0,52	0,54	0,57	0,60	0,40
Laturile simplu rezemate	0,26	0,29	0,31	0,33	0,34	0,35	0,38	0,40	0,26
Panouri cu laturile scurte simplu rezemate									
Laturile încastrate	0,40	0,43	0,45	0,47	0,48	0,49	0,52	0,54	-
Laturile simplu rezemate	-	-	-	-	-	-	-	-	0,26
Panouri cu laturile lungi simplu rezemate									
Laturile încastrate	-	-	-	-	-	-	-	-	0,40
Laturile simplu rezemate	0,26	0,30	0,33	0,36	0,38	0,40	0,44	0,47	-
Panouri cu o latură lungă încastrată									
Latura încastrată	0,45	0,48	0,51	0,53	0,55	0,57	0,60	0,63	-
Laturile simplu rezemate	0,30	0,32	0,34	0,35	0,36	0,37	0,39	0,41	0,29
Panouri cu o latură scurtă încastrată									
Latura scurtă	-	-	-	-	-	-	-	-	0,45
Laturile simplu rezemate	0,29	0,33	0,36	0,38	0,40	0,42	0,45	0,48	0,30
Panou simplu rezemat pe conturul									
Laturile simplu rezemate	0,33	0,36	0,39	0,41	0,43	0,45	0,48	0,50	0,33

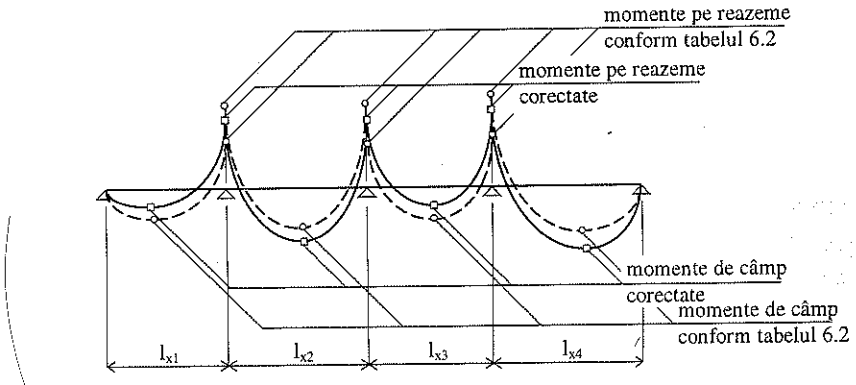


Fig. 6.3

colțurilor plăcilor, se vor respecta următoarele reguli de armare:

a) colțurile plăcilor simplu rezemate trebuie armate pe ambele fețe cu armături paralele cu laturile sub formă de plase pe lungimi de 1/5 din latura scurtă; aria armăturilor acestor plase trebuie să reprezinte 3/4 din aria armăturilor rezultate în mijlocul plăcii;

b) o armare pe jumătate din cea prevăzută mai sus se va prevedea la colțurile unde placa este continuă numai pe un reazem;

c) la colțurile unde placa este continuă peste două reazeme, nu este necesară armare pentru preluarea momentelor de torsiune.

6.7 Exemple de calcul

Exemplul 6.7.1: Placă continuă armată pe o direcție din beton armat monolit

Sistemul constructiv (fig.6.4)

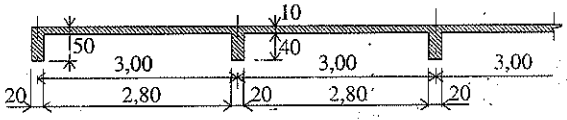


Fig. 6.4

- grosimea minimă absolută a plăcii: h_{min}=50 mm;
- grosimea minimă recomandată: h_{min}=60mm;
- se adoptă h=100 mm;
- beton C20/25 (echivalent cu Bc 25) cu f_{ck}=20 MPa;
- armare cu plase sudate conform normei germane DIN 488 [9] din oțel B 500 N cu rezistența caracteristică f_{yk}=500 MPa și ductilitate normală (clasa N);
- stratul de acoperire cu beton al armăturilor c_{min}=15 mm.

Schema statică (fig. 6.5)

Deschideri efective

$l_{eff}=l_n+a_1+a_2$; l_n=2,80 m; $a_1=a_2$=0,10 m

$l_{eff1}=l_{eff2}$=2,80+0,10+0,10=3,00 m

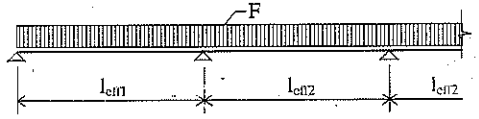


Fig. 6.5

Acțiuni

Valori caracteristice

Acțiuni permanente:

- greutatea proprie a plăcii
  0,10 m×25,0 kN/m³ = 2,5 kN/m²
- pardoseală de parchet 0,6 kN/m²

Total g_k= 3,1 kN/m²

- pereți despărțitori 1,0 kN/m²

Total q_k= 3,0 kN/m²

Valori de calcul

Acțiuni totale:

$F=\gamma_G g_k+\gamma_Q q_k$; γ_G=1,35; γ_G=1,50

$F=1,35\times3,1$ kN/m²$+1,50\times3,0$ kN/m²=8,7 kN/m²

Calculul static

Conform paragrafului 6.6.1 și a tabelului 6.1, în cazul utilizării oțelului cu ductilitate normală (clasa N), valorile momentelor maxime (fig. 6.6) vor avea următoarele valori:

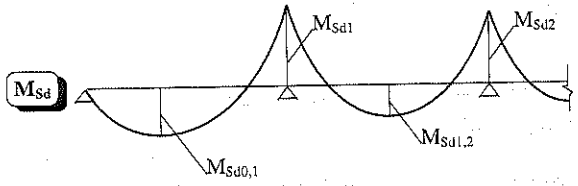


Fig. 6.6

$M_{Sd0,1} = 0,09Fl^2_{eff1} = 0,09\times8,7\times3,0^2 = 7,05$ kNm

$M_{Sd1} = -0,11Fl^2_{eff1} = -0,11\times8,7\times3,0^2 = -8,61$ kNm

$M_{Sd1,2} = 0,70Fl^2_{eff2} = 0,07\times8,7\times3,0^2 = 5,48$ kNm

$M_{Sd2} = -0,10Fl^2_{eff2} = -0,10\times8,7\times3,0^2 = -7,83$ kNm

Dimensionarea

Rezistențele de calcul ale materialelor

- beton C20/25, cu f_{ck}=20 MPa;
- coeficientul parțial de siguranță γ_c=1,5;

$$f_{cd}=\frac{f_{ck}}{\gamma_c}=\frac{20}{1,5}=13,3 \text{ MPa}$$

- oțel B 500 N cu f_{yk}=500 MPa și ductilitate normală;
- coeficientul parțial de siguranță γ_s=1,15.

$$f_{yd}=\frac{f_{yk}}{\gamma_s}=\frac{500}{1,15}=434,8 \text{ MPa}$$

- câmpurile marginale 0,1

$M_{Sd0,1}$ = 7,05 kNm; b = 1000 mm;

$d = h - c - \varnothing/2 = 100 - 15 - 3,5 = 81,5$ mm;

$\mu_{Sd0,1} = 0,0798 \Rightarrow \rho\% = 0,254\%$

$A_s = \rho\%bd = 0,254\% \times 1000 \times 81,5 = 207$ mm²

Se adoptă plasă sudată R 221.

- câmpurile curente 1,2

$M_{Sd1,2}$ = 5,48 kNm; b = 1000 mm;

$d = h - c - \varnothing/2 = 100 - 15 - 3,0 = 82,0$ mm;

$A_s = \rho\%bd = 0{,}194\% \times 1000 \times 82{,}0 = 159\ mm^2$

Se adoptă plasă sudată R 188.

• reazemele marginale 1

$M_{Sd1} = -8{,}61$ kNm; $b = 1000$ mm;

$d = h - c - \varnothing/2 = 100 - 15 - 3{,}5 = 81{,}5$ mm;

$\mu_{Sd1} = 0{,}0963 \Rightarrow \rho\% = 0{,}310\%$

$A_s = \rho\%bd = 0{,}310\% \times 1000 \times 81{,}5 = 253\ mm^2$

Se adoptă plasă sudată R 257.

• reazemele curente 2

$M_{Sd2} = -7{,}83$ kNm; $b = 1000$ mm;

$d = h - c - \varnothing/2 = 100 - 15 - 3{,}5 = 81{,}5$ mm;

$\mu_{Sd2} = 0{,}0886 \Rightarrow \rho\% = 0{,}284\%$

$A_s = \rho\%bd = 0{,}284\% \times 1000 \times 81{,}5 = 231\ mm^2$

Se adoptă plasă sudată R 257.

Exemplul 6.7.2: Placă independentă din beton armat monolit, armată bidirecțional, rezemată pe patru laturi, cu colțurile fixate

Sistemul constructiv (fig. 6.7)

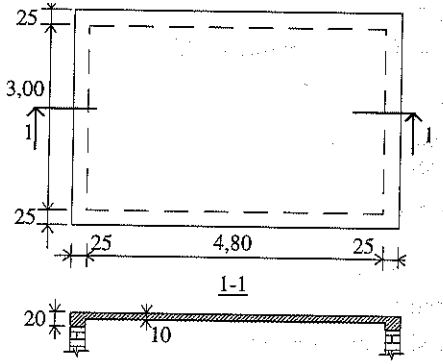


Fig. 6.7

• grosimea minimă absolută a plăcii: h_{min}=50 mm;

• grosimea minimă recomandată: h_{min}=60 mm;

• se adoptă h=100 mm;

• beton C 20/25 (echivalent cu Bc 25) cu f_{ck}=20 MPa;

• armare cu plase sudate din oțel B 500 H cu rezistența caracteristică f_{yk}=500 MPa și ductilitate ridicată (clasa H) [9];

• stratul de acoperire cu beton al armăturilor c_{min}=15 mm.

Schema statică (fig. 6.8)

Deschideri efective

$l_{eff} = l_n + a_1 + a_2$

l_{effy}=4,80+2×0,4×0,25=5,00 m; l_{effx}=3,0+2×0,4×0,25=3,20 m

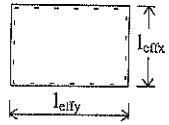


Fig. 6.8

Valori caracteristice

Acțiuni permanente:

• greutatea proprie a plăcii 0,10 m×25,0 kN/m³=2,5 kN/m²

• subansamblu termo-hidroizolație 1,2 kN/m²

Total g_k=3,7 kN/m²

Acțiuni variabile:

• încărcări utile 1,5 kN/m²

• zăpada 0,9 kN/m²

Total q_k=2,4 kN/m²

Valori de calcul

Acțiuni totale:

$F = \gamma_G g_k + \gamma_Q q_k$; γ_G=1,35; γ_G=1,50

$F = 1{,}35 \times 3{,}7\ kN/m^2 + 1{,}50 \times 2{,}4\ kN/m^2 = 8{,}6\ kN/m^2$

Calculul static

Conform paragrafului 6.6.2 și a tabelului 6.2, momentele de calcul rezultă:

$$M_{Sdx} = \beta_{sx} F l_{effx}^2 \text{ și } M_{Sdy} = \beta_{sy} F l_{effy}^2$$

Pentru l_{effy}/l_{effx}=5,0/3,2=1,56, rezultă:

$$\beta_{sx} = 0{,}095 \text{ și } \beta_{sy} = 0{,}056$$

Valorile momentelor sunt următoarele:

$M_{dx} = 0{,}095 \times 8{,}6 \times 3{,}2^2 = 8{,}37$ kNm; $M_{dy} = 0{,}056 \times 8{,}6 \times 3{,}2^2 = 4{,}93$ kNm

Dimensionarea

Rezistențele de calcul ale materialelor

• beton C20/25 (echivalent cu Bc 25) cu f_{ck}=20 MPa;

• coeficientul parțial de siguranță γ_c=1,5;

$$f_{cd} = \frac{f_{ck}}{\gamma_c} = \frac{20}{1{,}5} = 13{,}3\ MPa$$

• oțel B 500 H cu f_{yk}=500 MPa și ductilitate ridicată, clasa H;

• coeficientul parțial de siguranță γ_s=1,15.

$$f_{yd} = \frac{f_{yk}}{\gamma_s} = \frac{500}{1{,}15} = 434{,}8\ MPa$$

• direcția scurtă

$M_{Sdx} = 8{,}37$ kNm; $b = 1000$ mm;

$d_x = h - c - \varnothing_x/2 = 100 - 15 - 3{,}5 = 81{,}5$ mm;

$\mu_{Sdx} = 0{,}0947 \Rightarrow \rho_x\% = 0{,}305\%$

$A_{sx} = \rho_x\% bd_x = 0{,}305\% \times 1000 \times 81{,}5 = 249\ mm^2$

• direcția lungă

$M_{Sdy} = 4{,}93$ kNm; $b = 1000$ mm;

$d_y = h - c - \varnothing_x - \varnothing_y/2 = 100 - 15 - 7 - 3{,}5 = 74{,}5$ mm;

$\mu_{Sdy} = 0{,}0668 \Rightarrow \rho_y\% = 0{,}212\%$

$A_{sy} = \rho_y\% bd_y = 0{,}212\% \times 1000 \times 74{,}5 = 158\ mm^2$

Se adoptă plasă sudată Q 257: $A_{sx}=A_{sy}=283\ mm^2$.

Sistemul constructiv (fig. 6.9)

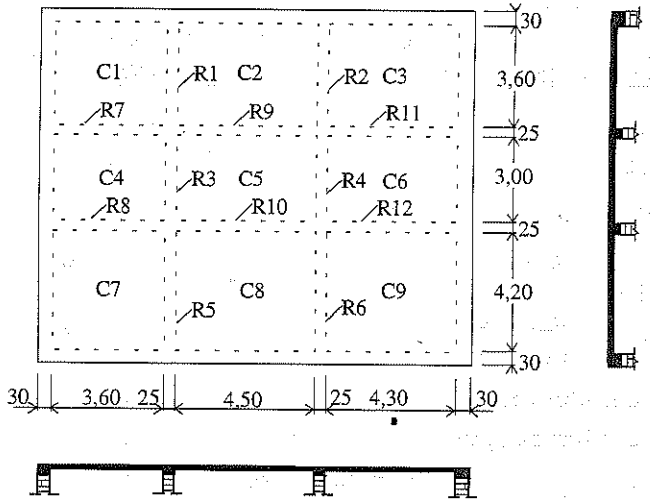


Fig. 6.9

- grosimea minimă absolută a plăcii: h_{min}=50 mm;
- grosimea minimă recomandată: h_{min}=60 mm;
- se adoptă h=100 mm;
- beton C 20/25 (echivalent cu Bc 25) cu f_{ck}=20 MPa;
- armare cu plase sudate din oțel B 500 N cu rezistența caracteristică f_{yk}=500 MPa și ductilitate normală (clasa N) [9];
- stratul de acoperire cu beton al armăturilor c_{min}=15 mm.

Schema statică (fig. 6.10)

Deschideri efective

$l_{eff}=l_n+a_1+a_2$

$l_{effx1}=3,60+1/3\times0,3+1/2\times0,25=3,825$ m

$l_{effx2}=4,50+2\times1/2\times0,25=4,75$ m

$l_{effx3}=4,20+2\times1/3\times0,3+1/2\times0,25=4,425$ m

$l_{effy1}=4,20+1/3\times0,3+1/2\times0,25=4,425$ m

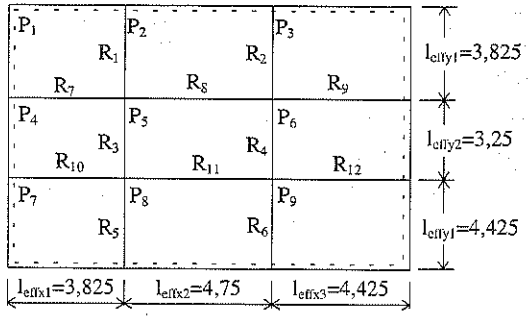


Fig. 6.10

Acțiuni

Valori caracteristice

Acțiuni permanente:

- greutatea proprie a plăcii
  0,10 m×25,0 kN/m^3= 2,5 kN/m^2
- subansamblu termo-hidroizolație 1,2 kN/m^2
  Total g_k=3,7 kN/m^2
- încărcări utile 1,5 kN/m^2
- zăpada 0,9 kN/m^2
  Total q_k=2,4 kN/m^2

Valori de calcul

Acțiunea totală:

$F=\gamma_G g_k+\gamma_Q q_k$; γ_G=1,35; γ_G=1,50

$F=1,35\times3,7$ kN/m^2+$1,50\times2,4$ kN/m^2=8,6 kN/m^2

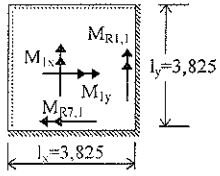
Calculul static conform Concise Eurocode (CE)

Determinarea momentelor în panourile de plăci

Panoul P_1 $l_y/l_x=3,825/3,825=1$, conform tab. 6.2 :

$M_{1x}=M_{1y}=0,036\times8,6\times3,825^2=4,53$ kNm

$M_{R1,1}=M_{R7,1}=-0,047\times8,6\times3,825^2=-5,91$ kNm



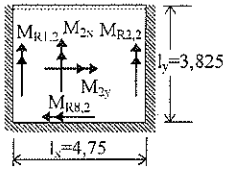
Panoul P_2 $l_x/l_y=4,75/3,825=1,24$, conform tab. 6.2:

$M_{2x}=0,028\times8,6\times3,825^2=3,52$ kNm

$M_{2y}=0,044\times8,6\times3,825^2=5,54$ kNm

$M_{R1,2}=M_{R2,2}=-0,037\times8,6\times3,825^2=-4,66$ kNm

$M_{R8,2}=-0,0584\times8,6\times3,825^2=-7,35$ kNm



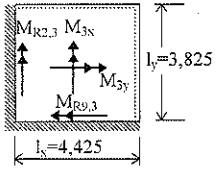
Panoul P_3 $l_x/l_y=4,425/3,825=1,157$, conform tab. 6.2:

$M_{3x}=0,034\times8,6\times3,825^2=4,28$ kNm

$M_{3y}=0,045\times8,6\times3,825^2=5,66$ kNm

$M_{R2,3}=-0,045\times8,6\times3,825^2=-5,66$ kNm

$M_{R9,3}=-0,0588\times8,6\times3,825^2=-7,40$ kNm



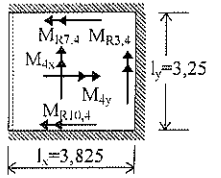
Panoul P_4 $l_x/l_y=3,825/3,25=1,177$, conform tab. 6.2:

$M_{4x}=0,028\times8,6\times3,25^2=2,54$ kNm

$M_{4y}=0,0353\times8,6\times3,25^2=3,21$ kNm

$M_{R3,4}=-0,037\times8,6\times3,25^2=-3,36$ kNm

$M_{R7,4}=M_{R10,4}=-0,047\times8,6\times3,25^2=-4,27$ kNm

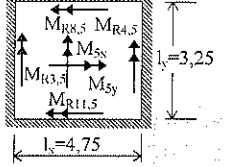


$M_{5x} = 0,024 \times 8,6 \times 3,25^2 = 2,18$ kNm

$M_{5y} = 0,039 \times 8,6 \times 3,25^2 = 3,54$ kNm

$M_{R3,5} = M_{R4,5} = -0,032 \times 8,6 \times 3,25^2 = -2,91$ kNm

$M_{R5,5} = M_{R11,5} = -0,052 \times 8,6 \times 3,25^2 = -4,72$ kNm



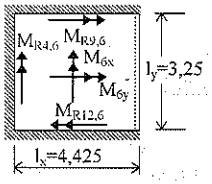
Panoul P_6 l_x/l_y=4,425/3,25=1,362, conform tab. 6.2:

$M_{6x} = 0,028 \times 8,6 \times 3,25^2 = 2,54$ kNm

$M_{6y} = 0,040 \times 8,6 \times 3,25^2 = 3,63$ kNm

$M_{R4,6} = -0,037 \times 8,6 \times 3,25^2 = -3,36$ kNm

$M_{R9,6} = M_{R12,6} = -0,054 \times 8,6 \times 3,25^2 = -4,90$ kNm



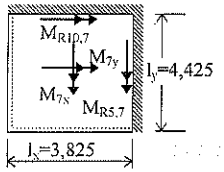
Panoul P_7 l_y/l_x=4,425/3,825=1,157, conform tab. 6.2:

$M_{7x} = 0,045 \times 8,6 \times 3,825^2 = 5,66$ kNm

$M_{7y} = 0,034 \times 8,6 \times 3,825^2 = 4,28$ kNm

$M_{R5,7} = -0,060 \times 8,6 \times 3,825^2 = -7,55$ kNm

$M_{R10,7} = -0,045 \times 8,6 \times 3,825^2 = -5,66$ kNm



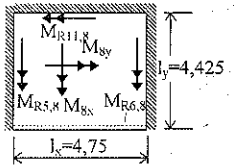
Panoul P_8 l_x/l_y=4,75/4,425=1,073, conform tab. 6.2:

$M_{8x} = 0,028 \times 8,6 \times 4,425^2 = 4,72$ kNm

$M_{8y} = 0,034 \times 8,6 \times 4,425^2 = 5,73$ kNm

$M_{R5,8} = M_{R6,8} = -0,037 \times 8,6 \times 4,425^2 = -6,23$ kNm

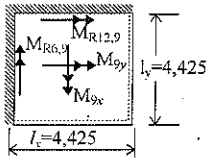
$M_{R11,8} = -0,046 \times 8,6 \times 4,425^2 = -7,75$ kNm



Panoul P_9 l_y/l_x=4,425/4,425=1, conform tab.6. 2:

$M_{9x} = M_{9y} = 0,036 \times 8,6 \times 4,425^2 = 6,06$ kNm

$M_{R6,9} = M_{R12,6} = -0,047 \times 8,6 \times 4,425^2 = -7,91$ kNm



Determinarea diagramelor de momente corectate

Şirul de panouri P_1, P_2 şi P_3

Diagrama de momente inițială (fig. 6.11):

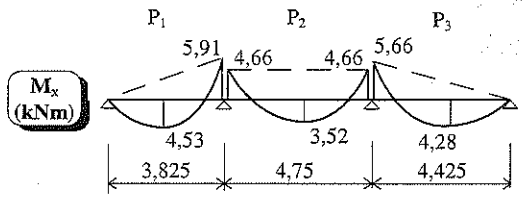


Fig. 6.11

Rigiditățile relative ale panourilor:

$$r_{P_1} = \frac{3}{4} \times \frac{10}{3,825} = 1,96;\ r_{P_2} = \frac{10}{4,75} = 2,10;\ r_{P_3} = \frac{3}{4} \times \frac{10}{4,425} = 1,69;$$

$$M_{SdR_1} = -5,91 + (5,91 - 4,66)\frac{1,96}{1,96 + 2,10} =$$

$$= -4,66 - (5,91 - 4,66)\frac{2,10}{1,96 + 2,10} = -5,30 \text{ kNm}$$

$$M_{SdR_2} = -4,66 - (5,66 - 4,66)\frac{2,10}{1,69 + 2,10} =$$

$$= -5,66 + (5,66 - 4,66)\frac{1,69}{1,69 + 2,10} = -5,21 \text{ kNm}$$

Calculul momentelor corectate din câmpuri:

Panoul P_1

$$M_{tot} = M_{1x} + \frac{1}{2}|M_{R_{1,1}}| = 4,53 + \frac{1}{2} \times 5,91 = 7,49 \text{ kNm}$$

$$M_{Sd1x} = M_{tot} - \frac{1}{2}|M_{SdR_1}| = 7,49 - \frac{1}{2} \times 5,30 = 4,84 \text{ kNm}$$

Panoul P_2

$$M_{tot} = M_{2x} + \frac{|M_{R_{1,2}}| + |M_{R_{2,2}}|}{2} = 3,52 + \frac{4,66 + 4,66}{2} = 8,18 \text{ kNm}$$

$$M_{Sd2x} = M_{tot} - \frac{|M_{SdR_1}| + |M_{SdR_2}|}{2} = 7,49 - \frac{5,30 + 5,21}{2} = 2,24 \text{ kNm}$$

Panoul P_3

$$M_{tot} = M_{3x} + \frac{1}{2}|M_{R_{2,3}}| = 4,28 + \frac{1}{2} \times 5,66 = 7,11 \text{ kNm}$$

$$M_{Sd3x} = M_{tot} - \frac{1}{2}|M_{SdR_2}| = 7,11 - \frac{1}{2} \times 5,21 = 4,51 \text{ kNm}$$

Diagrama de momente finală (corectată) este prezentată în fig. 6.12:

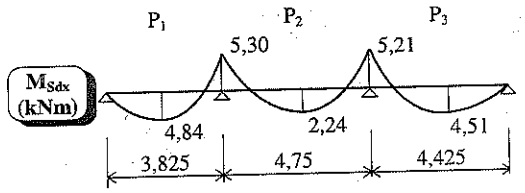


Fig. 6.12

Şirul de panouri P_4, P_5 şi P_6

Diagrama de momente inițială (fig. 6.13):

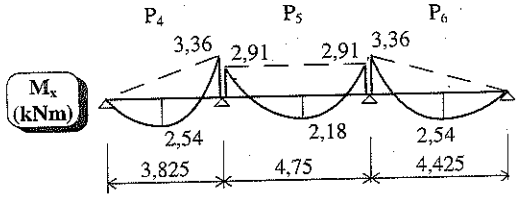


Fig. 6.13

$r_{P_4} = \frac{1}{4} \times \frac{3,825}{3,825} = 1,96$; $r_{P_5} = \frac{4,75}{4,75} = 2,10$; $r_{P_6} = \frac{1}{4} \times \frac{4,425}{4,425} = 1,69$;

Echilibrarea momentelor pe reazeme:

$$M_{SdR_3} = -3,36 + (3,36 - 2,91)\frac{1,96}{1,96 + 2,10} =$$

$$= -2,91 - (3,36 - 2,91)\frac{2,10}{1,96 + 2,10} = -3,14 \text{ kNm}$$

$$M_{SdR_4} = -2,91 - (3,36 - 2,91)\frac{2,10}{1,69 + 2,10} =$$

$$= -3,36 + (3,36 - 2,91)\frac{1,69}{1,69 + 2,10} = -3,16 \text{ kNm}$$

Calculul momentelor corectate din câmpuri:

Panoul P_4

$$M_{tot} = M_{4x} + \frac{1}{2}|M_{R_{3,4}}| = 2,54 + \frac{1}{2} \times 3,36 = 4,22 \text{ kNm}$$

$$M_{Sd4x} = M_{tot} - \frac{1}{2}|M_{SdR_3}| = 4,22 - \frac{1}{2} \times 3,14 = 2,65 \text{ kNm}$$

Panoul P_5

$$M_{tot} = M_{5x} + \frac{|M_{R_{3,5}}| + |M_{R_{4,5}}|}{2} = 2,18 + \frac{2,91 + 2,91}{2} = 5,09 \text{ kNm}$$

$$M_{Sd5x} = M_{tot} - \frac{|M_{SdR_3}| + |M_{SdR_4}|}{2} = 5,09 - \frac{3,14 + 3,16}{2} = 1,94 \text{ kNm}$$

Panoul P_6

$$M_{tot} = M_{6x} + \frac{1}{2}|M_{R_{4,6}}| = 2,54 + \frac{1}{2} \times 3,36 = 4,22 \text{ kNm}$$

$$M_{Sd6x} = M_{tot} - \frac{1}{2}|M_{SdR_4}| = 4,22 - \frac{1}{2} \times 3,16 = 2,64 \text{ kNm}$$

Diagrama de momente finală (corectată) este prezentată în figura 6.14:

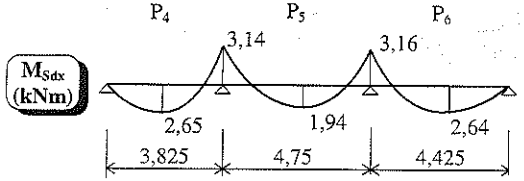


Fig. 6.14

Şirul de panouri P_7, P_8 şi P_9

Diagrama de momente inițială (fig. 6.15):

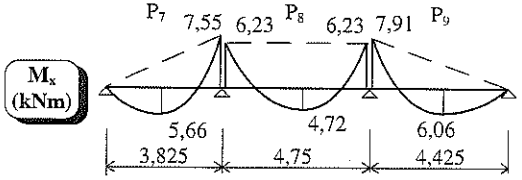


Fig. 6.15

$r_{P_7} = \frac{1}{4} \times \frac{3,825}{3,825} = 1,96$; $r_{P_8} = \frac{4,75}{4,75} = 2,10$; $r_{P_9} = \frac{1}{4} \times \frac{4,425}{4,425} = 1,69$;

Echilibrarea momentelor pe reazeme:

$$M_{SdR_5} = -7,55 + (7,55 - 6,23)\frac{1,96}{1,96 + 2,10} =$$

$$= -6,23 - (7,55 - 6,23)\frac{2,10}{1,96 + 2,10} = -6,91 \text{ kNm}$$

$$M_{SdR_6} = -6,23 - (7,91 - 6,23)\frac{2,10}{1,69 + 2,10} =$$

$$= -7,91 + (7,91 - 6,23)\frac{1,69}{1,69 + 2,10} = -7,16 \text{ kNm}$$

Calculul momentelor corectate din câmpuri:

Panoul P_7

$$M_{tot} = M_{7x} + \frac{1}{2}|M_{R_{5,7}}| = 5,66 + \frac{1}{2} \times 7,55 = 9,44 \text{ kNm}$$

$$M_{Sd7x} = M_{tot} - \frac{1}{2}|M_{SdR_5}| = 9,44 - \frac{1}{2} \times 6,91 = 5,99 \text{ kNm}$$

Panoul P_8

$$M_{tot} = M_{8x} + \frac{|M_{R_{5,8}}| + |M_{R_{6,8}}|}{2} = 4,72 + \frac{6,23 + 6,23}{2} = 10,95 \text{ kNm}$$

$$M_{Sd8x} = M_{tot} - \frac{|M_{SdR_5}| + |M_{SdR_6}|}{2} = 10,95 - \frac{6,91 + 7,16}{2} = 3,92 \text{ kNm}$$

Panoul P_9

$$M_{tot} = M_{9x} + \frac{1}{2}|M_{R_{6,9}}| = 6,06 + \frac{1}{2} \times 7,91 = 10,02 \text{ kNm}$$

$$M_{Sd9x} = M_{tot} - \frac{1}{2}|M_{SdR_6}| = 10,02 - \frac{1}{2} \times 7,16 = 6,44 \text{ kNm}$$

Diagrama de momente finală (corectată) este prezentată în figura 6.16:

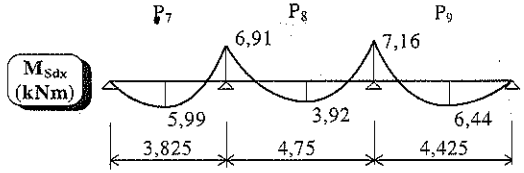


Fig. 6.16

Şirul de panouri P_1, P_4 şi P_7

Diagrama de momente inițială (fig. 6.17):

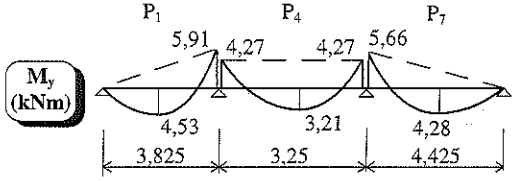


Fig. 6.17

$r_{P_1} = \frac{3}{4} \times \frac{10}{3,825} = 1,96$; $r_{P_4} = \frac{10}{3,25} = 3,08$; $r_{P_7} = \frac{3}{4} \times \frac{10}{4,425} = 1,69$;

Echilibrarea momentelor pe reazeme:

$$M_{SdR_7} = -5,91 + (5,91 - 4,27)\frac{1,96}{1,96 + 3,08} =$$

$$= -4,27 - (5,91 - 4,27)\frac{3,08}{1,96 + 3,08} = -5,27 \text{ kNm}$$

$$M_{SdR_{10}} = -4,27 - (5,66 - 4,27)\frac{3,08}{3,08 + 1,96} =$$

$$= -5,66 + (5,66 - 4,27)\frac{1,69}{3,08 + 1,69} = -5,17 \text{ kNm}$$

Calculul momentelor corectate din câmpuri:

Panoul P_1

$$M_{tot} = M_{1y} + \frac{1}{2}|M_{R_{7,1}}| = 4,53 + \frac{1}{2} \times 5,91 = 7,49 \text{ kNm}$$

$$M_{Sd1y} = M_{tot} - \frac{1}{2}|M_{SdR_7}| = 7,49 - \frac{1}{2} \times 5,27 = 4,86 \text{ kNm}$$

Panoul P_4

$$M_{tot} = M_{4y} + \frac{|M_{R_{7,4}}| + |M_{R_{10,4}}|}{2} = 3,12 + \frac{4,27 + 4,27}{2} = 7,39 \text{ kNm}$$

$$M_{Sd4y} = M_{tot} - \frac{|M_{SdR_7}| + |M_{SdR_{10}}|}{2} = 7,39 - \frac{5,27 + 5,17}{2} = 2,17 \text{ kNm}$$

Panoul P_7

$$M_{tot} = M_{7y} + \frac{1}{2}|M_{SdR_{10,7}}| = 4,28 + \frac{1}{2} \times 5,66 = 7,11 \text{ kNm}$$

$$M_{Rd7y} = M_{tot} - \frac{1}{2}|M_{SdR_{10}}| = 7,11 - \frac{1}{2} \times 5,17 = 4,53 \text{ kNm}$$

Diagrama de momente finală (corectată) este prezentată în figura 6.18:

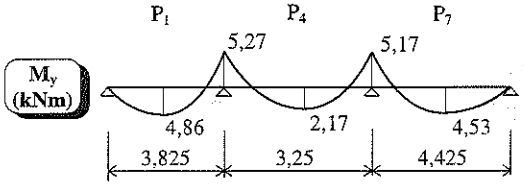


Fig. 6.18

Şirul de panouri P_2, P_5 şi P_8

Diagrama de momente inițială (fig. 6.19):

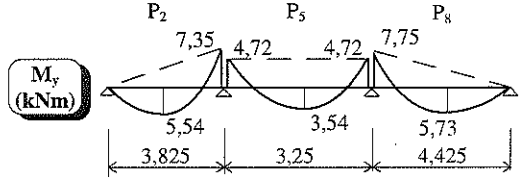


Fig. 6.19

$r_{P_2} = \frac{3}{4} \times \frac{10}{3,825} = 1,96$; $r_{P_5} = \frac{10}{3,25} = 3,08$; $r_{P_8} = \frac{3}{4} \times \frac{10}{4,425} = 1,69$;

Echilibrarea momentelor pe reazeme:

$$M_{SdR_8} = -7,35 + (7,35 - 4,72)\frac{1,96}{1,96 + 3,08} =$$

$$= -4,72 - (7,35 - 4,72)\frac{3,08}{1,96 + 3,08} = -6,33 \text{ kNm}$$

$$M_{SdR_{11}} = -4,72 - (7,74 - 4,72)\frac{3,08}{3,08 + 1,96} =$$

$$= -7,75 + (7,75 - 4,72)\frac{1,69}{3,08 + 1,69} = -6,67 \text{ kNm}$$

Calculul momentelor corectate din câmpuri:

Panoul P_2

$$M_{tot} = M_{2y} + \frac{1}{2}|M_{R_{8,2}}| = 5,54 + \frac{1}{2} \times 7,35 = 9,22 \text{ kNm}$$

$$M_{Sd2y} = M_{tot} - \frac{1}{2}|M_{SdR_8}| = 9,22 - \frac{1}{2} \times 6,33 = 6,06 \text{ kNm}$$

Panoul P_5

$$M_{tot} = M_{5y} + \frac{|M_{R_{8,5}}| + |M_{R_{11,5}}|}{2} = 3,54 + \frac{4,72 + 4,72}{2} = 8,26 \text{ kNm}$$

$$M_{Sd5y} = M_{tot} - \frac{|M_{SdR_8}| + |M_{SdR_{11}}|}{2} = 8,26 - \frac{6,33 + 6,67}{2} = 1,76 \text{ kNm}$$

Panoul P_8

$$M_{tot} = M_{8y} + \frac{1}{2}|M_{R_{11,8}}| = 5,73 + \frac{1}{2} \times 7,75 = 9,61 \text{ kNm}$$

$$M_{Sd8y} = M_{tot} - \frac{1}{2}|M_{SdR_{11}}| = 9,61 - \frac{1}{2} \times 6,67 = 6,27 \text{ kNm}$$

Diagrama de momente finală (corectată) este prezentată în fig. 6.20:

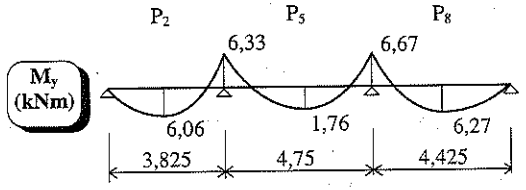


Fig. 6.20

Şirul de panouri P_3, P_6 şi P_9

Diagrama de momente inițială (fig. 6.21):

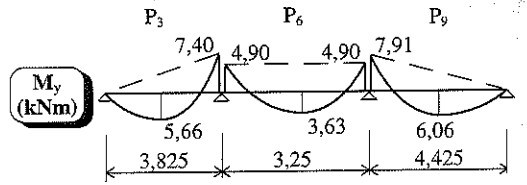


Fig. 6.21

$r_{P_3} = \frac{3}{4} \times \frac{10}{3,825} = 1,96$; $r_{P_6} = \frac{10}{3,25} = 3,08$; $r_{P_9} = \frac{3}{4} \times \frac{10}{4,425} = 1,69$:

Echilibrarea momentelor pe reazeme:

$$M_{SdR_9} = -7,40 + (7,40 - 5,66)\frac{1,96}{1,96 + 3,08} =$$

$$= -5,66 - (7,40 - 5,66)\frac{3,08}{1,96 + 3,08} = -6,72 \text{ kNm}$$

$$M_{SdR_{12}} = -4,90 - (7,91 - 4,90)\frac{3,08}{3,08 + 1,96} =$$

$$= -7,91 + (7,91 - 4,90)\frac{1,69}{3,08 + 1,69} = -6,84 \text{ kNm}$$

Calculul momentelor corectate din câmpuri:

Panoul P_3

$$M_{tot} = M_{3y} + \frac{1}{2}|M_{R_{9,3}}| = 5,66 + \frac{1}{2} \times 7,40 = 9,36 \text{ kNm}$$

$$M_{Sd3y} = M_{tot} - \frac{1}{2}|M_{SdR_9}| = 9,36 - \frac{1}{2} \times 6,72 = 6,00 \text{ kNm}$$

Panoul P_6

$$M_{tot} = M_{6y} + \frac{|M_{R_{9,6}}| + |M_{R_{12,6}}|}{2} = 3,63 + \frac{4,90 + 4,90}{2} = 8,53 \text{ kNm}$$

$$M_{Sd6y} = M_{tot} - \frac{|M_{SdR_9}| + |M_{SdR_{12}}|}{2} = 8,53 - \frac{6,72 + 6,84}{2} = 1,75 \text{ kNm}$$

Panoul P_9

$$M_{tot} = M_{9y} + \frac{1}{2}|M_{R_{12,9}}| = 6,06 + \frac{1}{2} \times 7,91 = 10,02 \text{ kNm}$$

$$M_{Sd9y} = M_{tot} - \frac{1}{2}|M_{SdR_{12}}| = 10,02 - \frac{1}{2} \times 6,84 = 6,60 \text{ kNm}$$

Diagrama de momente finală (corectată) este prezentată în figura 6.22:

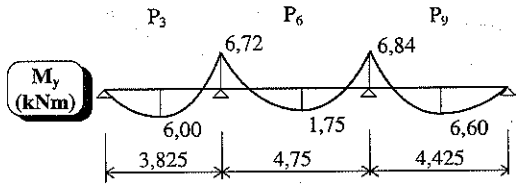


Fig. 6.22

Dimensionarea

Rezistențele de calcul ale materialelor

- beton C20/25 (echivalent cu Bc 25) cu f_{ck}=20 MPa;
- coeficientul parțial de siguranță γ_c=1,5;

$$f_{cd} = \frac{f_{ck}}{\gamma_c} = \frac{20}{1,5} = 13,3 \text{ MPa}$$

- coeficientul parțial de siguranță γ_s=1,5;

$$f_{yd} = \frac{f_{yk}}{\gamma_s} = \frac{500}{1,15} = 434,8 \text{ MPa}$$

Panouri

Panoul P_1

- direcția x

$M_{Sd1x} = 4,84$ kNm; b = 1.000 mm;

$d_x = h - c - \varnothing_x - \varnothing_y / 2 = 100 - 15 - 6 - 6/2 = 76$ mm;

$\mu_{Sdx} = 0,0630 \Rightarrow \rho_x\% = 0,199\%$;

$A_{sx} = \rho_x\% \cdot b \cdot d_x = 0,199\% \times 1.000 \times 76 = 151 \text{ mm}^2$.

- direcția y

$M_{Sd1y} = 4,86$ kNm; b = 1.000 mm;

$d_y = h - c - \varnothing_y / 2 = 100 - 15 - 6/2 = 82$ mm;

$\mu_{Sdy} = 0,0543 \Rightarrow \rho_y\% = 0,171\%$;

$A_{sy} = \rho_y\% \cdot b \cdot d_y = 0,171\% \times 1.000 \times 82 = 140 \text{ mm}^2$.

Se adoptă plasă sudată Q 188: A_{sx}=A_{sy}=188 mm^2.

Panoul P_2

- direcția x

$M_{Sd2x} = 2,64$ kNm; b = 1.000 mm;

$d_x = h - c - \varnothing_x - \varnothing_y / 2 = 100 - 15 - 6 - 6/2 = 76$ mm;

$\mu_{Sdx} = 0,0344 \Rightarrow \rho_x\% = 0,107\%$;

$A_{sx} = \rho_x\% \cdot b \cdot d_x = 0,107\% \times 1.000 \times 76 = 81 \text{ mm}^2$.

- direcția y

$M_{Sd2y} = 6,06$ kNm; b = 1.000 mm;

$d_y = h - c - \varnothing_y / 2 = 100 - 15 - 6/2 = 82$ mm;

$\mu_{Sdy} = 0,0678 \Rightarrow \rho_y\% = 0,215\%$;

$A_{sy} = \rho_y\% \cdot b \cdot d_y = 0,215\% \times 1.000 \times 82 = 176 \text{ mm}^2$.

Se adoptă plasă sudată Q 188: A_{sx}=A_{sy}=188 mm^2.

Panoul P_3

- direcția x

$M_{Sd3x} = 4,51$ kNm; b = 1.000 mm;

$d_x = h - c - \varnothing_x - \varnothing_y / 2 = 100 - 15 - 6 - 6/2 = 76$ mm;

$\mu_{Sdx} = 0,0587 \Rightarrow \rho_x\% = 0,185\%$;

$A_{sx} = \rho_x\% \cdot b \cdot d_x = 0,185\% \times 1.000 \times 76 = 141 \text{ mm}^2$.

- direcția y

$M_{Sd3y} = 6,00$ kNm; b = 1.000 mm;

$d_y = h - c - \varnothing_y / 2 = 100 - 15 - 6/2 = 82$ mm;

$\mu_{Sdy} = 0,0671 \Rightarrow \rho_y\% = 0,213\%$;

Se adoptă plasă sudată Q 188: $A_{sx}=A_{sy}=188\ mm^2$.

Panoul P_4

• direcția x

$M_{Sd4x} = 2{,}65$ kNm; b = 1.000 mm;

$d_x = h - c - \varnothing_x / 2 = 100 - 15 - 5 / 2 = 82{,}5$ mm;

$\mu_{Sdx} = 0{,}0293 \Rightarrow \rho_x\% = \rho_{min}\% = 0{,}100\%$;

$A_{sx} = \rho_x\% \cdot b \cdot d_x = 0{,}100\% \times 1.000 \times 82{,}5 = 83\ mm^2$.

• direcția y

$M_{Sd4y} = 2{,}17$ kNm; b = 1.000 mm;

$d_y = h - c - \varnothing_x - \varnothing_y / 2 = 100 - 15 - 5 - 5 / 2 = 77{,}5$ mm;

$\mu_{Sdy} = 0{,}0272 \Rightarrow \rho_y\% = \rho_{min}\% = 0{,}100\%$;

$A_{sy} = \rho_y\% \cdot b \cdot d_y = 0{,}100\% \times 1.000 \times 77{,}5 = 78\ mm^2$.

Se adoptă plasă sudată Q 131: $A_{sx}=A_{sy}=131\ mm^2$.

Panoul P_5

• direcția x

$M_{Sd5x} = 1{,}94$ kNm; b = 1.000 mm;

$d_x = h - c - \varnothing_x / 2 = 100 - 15 - 5 / 2 = 82{,}5$ mm;

$\mu_{Sdx} = 0{,}0214 \Rightarrow \rho_x\% = \rho_{min}\% = 0{,}100\%$;

$A_{sx} = \rho_x\% \cdot b \cdot d_x = 0{,}100\% \times 1.000 \times 82{,}5 = 83\ mm^2$.

• direcția y

$M_{Sd5y} = 1{,}76$ kNm; b = 1.000 mm;

$d_y = h - c - \varnothing_x - \varnothing_y / 2 = 100 - 15 - 5 - 5 / 2 = 77{,}5$ mm;

$\mu_{Sdy} = 0{,}0220 \Rightarrow \rho_y\% = \rho_{min}\% = 0{,}100\%$;

$A_{sy} = \rho_y\% \cdot b \cdot d_y = 0{,}100\% \times 1.000 \times 77{,}5 = 78\ mm^2$.

Se adoptă plasă sudată Q 131: $A_{sx}=A_{sy}=131\ mm^2$.

Panoul P_6

• direcția x

$M_{Sd6x} = 2{,}64$ kNm; b = 1.000 mm;

$d_x = h - c - \varnothing_x / 2 = 100 - 15 - 5 / 2 = 82{,}5$ mm;

$\mu_{Sdx} = 0{,}0198 \Rightarrow \rho_x\% = \rho_{min}\% = 0{,}100\%$;

$A_{sx} = \rho_x\% \cdot b \cdot d_x = 0{,}100\% \times 1.000 \times 82{,}5 = 83\ mm^2$.

• direcția y

$M_{Sd6y} = 1{,}7$ kNm; b = 1.000 mm;

$d_y = h - c - \varnothing_x - \varnothing_y / 2 = 100 - 15 - 5 - 5 / 2 = 77{,}5$ mm;

$\mu_{Sdy} = 0{,}0220 \Rightarrow \rho_y\% = \rho_{min}\% = 0{,}100\%$;

$A_{sy} = \rho_y\% \cdot b \cdot d_y = 0{,}100\% \times 1.000 \times 77{,}5 = 78\ mm^2$.

Se adoptă plasă sudată Q 131: $A_{sx}=A_{sy}=131\ mm^2$.

• direcția x

$M_{Sd7x} = 5{,}99$ kNm; b = 1.000 mm;

$d_x = h - c - \varnothing_x - \varnothing_y / 2 = 100 - 15 - 6 - 6 / 2 = 76$ mm;

$\mu_{Sdx} = 0{,}0780 \Rightarrow \rho_x\% = 0{,}249\%$;

$A_{sx} = \rho_x\% \cdot b \cdot d_x = 0{,}249\% \times 1.000 \times 76 = 188\ mm^2$.

• direcția y

$M_{Sd7y} = 4{,}53$ kNm; b = 1.000 mm;

$d_y = h - c - \varnothing_y / 2 = 100 - 15 - 6 / 2 = 82$ mm;

$\mu_{Sdy} = 0{,}0507 \Rightarrow \rho_y\% = 0{,}159\%$;

$A_{sy} = \rho_y\% \cdot b \cdot d_y = 0{,}159\% \times 1.000 \times 82 = 130\ mm^2$.

Se adoptă plasă sudată Q 188: $A_{sx}=A_{sy}=188\ mm^2$.

Panoul P_8

• direcția x

$M_{Sd8x} = 3{,}92$ kNm; b = 1.000 mm;

$d_x = h - c - \varnothing_x - \varnothing_y / 2 = 100 - 15 - 6 - 6 / 2 = 76$ mm;

$\mu_{Sdx} = 0{,}0472 \Rightarrow \rho_x\% = 0{,}148\%$;

$A_{sx} = \rho_x\% \cdot b \cdot d_x = 0{,}148\% \times 1.000 \times 76 = 117\ mm^2$.

• direcția y

$M_{Sd8y} = 6{,}27$ kNm; b = 1.000 mm;

$d_y = h - c - \varnothing_y / 2 = 100 - 15 - 6 / 2 = 82$ mm;

$\mu_{Sdy} = 0{,}0701 \Rightarrow \rho_y\% = 0{,}223\%$;

$A_{sy} = \rho_y\% \cdot b \cdot d_y = 0{,}223\% \times 1.000 \times 82 = 182\ mm^2$.

Se adoptă plasă sudată Q 188: $A_{sx}=A_{sy}=188\ mm^2$.

Panoul P_9

• direcția x

$M_{Sd9x} = 6{,}44$ kNm; b = 1.000 mm;

$d_x = h - c - \varnothing_x - \varnothing_y / 2 = 100 - 15 - 6{,}5 - 6{,}5 / 2 = 75{,}25$ mm;

$\mu_{Sdx} = 0{,}0855 \Rightarrow \rho_x\% = 0{,}274\%$;

$A_{sx} = \rho_x\% \cdot b \cdot d_x = 0{,}274\% \times 1.000 \times 75{,}25 = 206\ mm^2$.

• direcția y

$M_{Sd9y} = 6{,}60$ kNm; b = 1.000 mm;

$d_y = h - c - \varnothing_y / 2 = 100 - 15 - 6{,}5 / 2 = 81{,}75$ mm;

$\mu_{Sdy} = 0{,}0743 \Rightarrow \rho_y\% = 0{,}236\%$;

$A_{sy} = \rho_y\% \cdot b \cdot d_y = 0{,}236\% \times 1.000 \times 81{,}75 = 193\ mm^2$.

Se adoptă plasă sudată Q 221: $A_{sx}=A_{sy}=221\ mm^2$.

Reazemul 1

$M_{Sd1x} = 5{,}30$ kNm; $b = 1.000$ mm;

$d_x = h - c - \varnothing_x / 2 = 100 - 15 - 6/2 = 82$ mm;

$\mu_{Sdx} = 0{,}0593 \Rightarrow \rho_x\% = 0{,}187\%$;

$A_{sx} = \rho_x\% \cdot b \cdot d_x = 0{,}187\% \times 1.000 \times 82 = 153$ mm^2.

Se adoptă plasă sudată R 188: A_{sx}=188 mm^2.

Reazemul 2

$M_{Sd2x} = 5{,}21$ kNm; $b = 1.000$ mm;

$d_x = h - c - \varnothing_x / 2 = 100 - 15 - 6/2 = 82$ mm;

$\mu_{Sdx} = 0{,}0583 \Rightarrow \rho_x\% = 0{,}184\%$;

$A_{sx} = \rho_x\% \cdot b \cdot d_x = 0{,}184\% \times 1.000 \times 82 = 151$ mm^2.

Se adoptă plasă sudată R 188: A_{sx}=188 mm^2.

Reazemul 3

$M_{Sd3x} = 3{,}14$ kNm; $b = 1.000$ mm;

$d_x = h - c - \varnothing_x / 2 = 100 - 15 - 3/2 = 83{,}5$ mm;

$\mu_{Sdx} = 0{,}0339 \Rightarrow \rho_x\% = 0{,}105\%$;

$A_{sx} = \rho_x\% \cdot b \cdot d_x = 0{,}105\% \times 1.000 \times 83{,}5 = 88$ mm^2.

Se adoptă plasă sudată N 94: A_{sx}=94 mm^2.

Reazemul 4

$M_{Sd4x} = 3{,}16$ kNm; $b = 1.000$ mm;

$d_x = h - c - \varnothing_x / 2 = 100 - 15 - 3/2 = 83{,}5$ mm;

$\mu_{Sdx} = 0{,}0341 \Rightarrow \rho_x\% = 0{,}106\%$;

$A_{sx} = \rho_x\% \cdot b \cdot d_x = 0{,}106\% \times 1.000 \times 83{,}5 = 89$ mm^2.

Se adoptă plasă sudată N 94: A_{sx}=94 mm^2.

Reazemul 5

$M_{Sd5x} = 6{,}91$ kNm; $b = 1.000$ mm;

$d_x = h - c - \varnothing_x / 2 = 100 - 15 - 6{,}5/2 = 81{,}75$ mm;

$\mu_{Sdx} = 0{,}0777 \Rightarrow \rho_x\% = 0{,}248\%$;

$A_{sx} = \rho_x\% \cdot b \cdot d_x = 0{,}248\% \times 1.000 \times 81{,}75 = 203$ mm^2.

Se adoptă plasă sudată R 221: A_{sx}=221 mm^2.

Reazemul 6

$M_{Sd6x} = 7{,}16$ kNm; $b = 1.000$ mm;

$d_x = h - c - \varnothing_x / 2 = 100 - 15 - 6{,}5/2 = 81{,}75$ mm;

$\mu_{Sdx} = 0{,}0806 \Rightarrow \rho_x\% = 0{,}257\%$;

$A_{sx} = \rho_x\% \cdot b \cdot d_x = 0{,}257\% \times 1.000 \times 81{,}75 = 210$ mm^2.

Se adoptă plasă sudată R 221: A_{sx}=221 mm^2.

$d_y = h - c - \varnothing_y / 2 = 100 - 15 - 6/2 = 82$ mm;

$\mu_{Sdy} = 0{,}0589 \Rightarrow \rho_y\% = 0{,}186\%$;

$A_{sy} = \rho_y\% \cdot b \cdot d_y = 0{,}186\% \times 1.000 \times 82 = 152$ mm^2.

Se adoptă plasă sudată R 188: A_{sy}=221 mm^2.

Reazemul 8

$M_{Sd8y} = 6{,}33$ kNm; $b = 1.000$ mm;

$d_y = h - c - \varnothing_y / 2 = 100 - 15 - 6/2 = 82$ mm;

$\mu_{Sdy} = 0{,}0708 \Rightarrow \rho_y\% = 0{,}225\%$;

$A_{sy} = \rho_y\% \cdot b \cdot d_y = 0{,}225\% \times 1.000 \times 82 = 184$ mm^2.

Se adoptă plasă sudată R 188: A_{sy}=221 mm^2.

Reazemul 9

$M_{Sd9y} = 6{,}72$ kNm; $b = 1.000$ mm;

$d_y = h - c - \varnothing_y / 2 = 100 - 15 - 6{,}5/2 = 81{,}75$ mm;

$\mu_{Sdy} = 0{,}0756 \Rightarrow \rho_y\% = 0{,}241\%$;

$A_{sy} = \rho_y\% \cdot b \cdot d_y = 0{,}241\% \times 1.000 \times 81{,}75 = 197$ mm^2.

Se adoptă plasă sudată R 221: A_{sy}=221 mm^2.

Reazemul 10

$M_{Sd10y} = 5{,}17$ kNm; $b = 1.000$ mm;

$d_y = h - c - \varnothing_y / 2 = 100 - 15 - 6/2 = 82$ mm;

$\mu_{Sdy} = 0{,}0578 \Rightarrow \rho_y\% = 0{,}182\%$;

$A_{sy} = \rho_y\% \cdot b \cdot d_y = 0{,}182\% \times 1.000 \times 82 = 149$ mm^2.

Se adoptă plasă sudată R 188: A_{sy}=188 mm^2.

Reazemul 11

$M_{Sd11y} = 6{,}67$ kNm; $b = 1.000$ mm;

$d_y = h - c - \varnothing_y / 2 = 100 - 15 - 6{,}5/2 = 81{,}75$ mm;

$\mu_{Sdy} = 0{,}0750 \Rightarrow \rho_y\% = 0{,}239\%$;

$A_{sy} = \rho_y\% \cdot b \cdot d_y = 0{,}239\% \times 1.000 \times 81{,}75 = 195$ mm^2.

Se adoptă plasă sudată R 221: A_{sy}=221 mm^2.

Reazemul 12

$M_{Sd12y} = 6{,}84$ kNm; $b = 1.000$ mm;

$d_y = h - c - \varnothing_y / 2 = 100 - 15 - 6{,}5/2 = 81{,}75$ mm;

$\mu_{Sdy} = 0{,}0770 \Rightarrow \rho_y\% = 0{,}245\%$;

$A_{sy} = \rho_y\% \cdot b \cdot d_y = 0{,}245\% \times 1.000 \times 81{,}75 = 200$ mm^2.

Se adoptă plasă sudată R 221: A_{sy}=221 mm^2.

elorilor în grinzi cu 2 până la 5 deschideri egale, acționate de o încărcare permanentă uniform repartizată g și o sarcină variabilă p fracționabilă

$$M_{max} = (ag + bp)l^2; \quad M_{min} = (ag + cp)l^2; \quad T_{max} = (\alpha g + \beta p)l; \quad T_{min} = (\alpha g + \gamma p)l$$

Tabelul I.1 Grinzi cu două deschideri egale

Secțiunea la $\xi = x/l$	Momente încovoietoare			Forțe tăietoare		
	Influența lui g	Influența lui p		Influența lui g	Influența lui p	
	a	b	c	α	β	γ
0	0	0	0	**+0,3750**	**+0,4375**	-0,0625
0,1	+0,0325	+0,0388	-0,0067	+0,2750	+0,3437	-0,0687
0,2	+0,0550	+0,0675	-0,0125	+0,1750	+0,2624	-0,0874
0,3	+0,0675	+0,0863	-0,0188	+0,0750	+0,1932	-0,1182
0,4	**+0,0700**	**+0,0950**	-0,0250	-0,0250	+0,1359	-0,1609
0,5	+0,0625	+0,0937	-0,0313	-0,1250	+0,0898	-0,2148
0,6	+0,0450	+0,0825	-0,0375	-0,2250	+0,0544	-0,2794
0,7	+0,0175	+0,0613	-0,0438	-0,3250	+0,0287	-0,3537
0,75	0	+0,0469	-0,0469	-0,3750	+0,0193	-0,3943
0,8	-0,0200	+0,0300	-0,0500	-0,4250	+0,0119	-0,4369
0,85	-0,0425	+0,0152	-0,0577	-0,4750	+0,0064	-0,4814
0,9	-0,0675	+0,0061	-0,0736	-0,5250	+0,0027	-0,5277
0,95	-0,0950	+0,0014	-0,0964	-0,5750	+0,0027	-0,5757
1,0	**-0,1250**	**0**	**-0,1250**	**-0,6250**	**0**	**-0,6250**
	gl^2	pl^2	pl^2	gl	pl	pl
	$V_{Amax} = 0{,}375gl + 0{,}4375pl$			$V_{Bmax} = 1{,}25(g + p)l$		

Tabelul I.2 Grinzi cu trei deschideri egale

Secțiunea la $\xi = x/l$	Momente încovoietoare			Forțe tăietoare		
	Influența lui g	Influența lui p		Influența lui g	Influența lui p	
	a	b	c	α	β	γ
	Deschideri marginale			Deschideri marginale		
0	0	0	0	**+0,4000**	**+0,4500**	-0,0500
0,1	+0,0350	+0,0400	-0,0050	+0,3000	+0,3560	-0,0563
0,2	+0,0600	+0,0700	-0,0100	+0,2000	+0,2752	-0,0752
0,3	+0,0750	+0,0900	-0,0150	+0,1000	+0,2665	-0,1065
0,4	**+0,0800**	**+0,1000**	-0,0200	0	+0,1496	-0,1496
0,5	+0,0750	+0,1000	-0,0250	-0,1000	+0,1042	-0,2042
0,6	+0,0600	+0,0900	-0,0300	-0,2000	+0,0694	-0,2694
0,7	+0,0350	+0,0700	-0,0350	-0,3000	+0,0443	-0,3443
0,8	0	+0,0402	-0,0402	-0,4000	+0,0280	-0,4280
0,85	-0,0213	+0,0277	-0,0490			
0,9	-0,0450	+0,0204	-0,0654	-0,5000	+0,0193	-0,5191
0,95	-0,0713	+0,0171	-0,0883			
1,0	**-0,1000**	+0,0167	**-0,1167**	**-0,6000**	+0,0167	**-0,6167**
	Deschiderea din mijloc			Deschiderea din mijloc		
0	-0,1000	+0,0167	**-0,1167**	**+0,5000**	**+0,5833**	-0,0833
0,05	-0,0763	+0,0141	-0,0903			
0,10	-0,0550	+0,0151	-0,0701	+0,4000	+0,4870	-0,0870
0,15	-0,0363	+0,0205	-0,0568			
0,20	-0,0200	+0,0300	-0,0500	+0,0300	+0,3991	-0,0991
0,3	+0,0050	+0,0550	-0,0500	+0,2000	+0,3210	-0,1210
0,4	+0,0200	+0,0700	-0,0500	+0,1000	+0,2537	-0,1537
0,5	**+0,0250**	**+0,0750**	-0,0500	0	+0,1979	-0,1979
	gl^2	pl^2	pl^2	gl	pl	pl
	$V_{Amax} = 0{,}40gl + 0{,}45pl$			$V_{Bmax} = 1{,}1gl + 1{,}2pl$		

Secțiunea la $\xi = x/l$	Momente încovoietoare			Forțe tăietoare		
	Influența lui g	Influența lui p		Influența lui g	Influența lui p	
	a	b	c	α	β	γ
	Deschideri marginale			Deschideri marginale		
0	0	0	0	**+0,3929**	**+0,4464**	-0,0535
0,1	+0,0343	+0,0396	-0,0054	+0,2929	+0,3528	-0,0599
0,2	+0,0586	+0,0693	-0,0107	+0,1929	+0,2715	-0,0788
0,3	+0,0729	+0,0889	-0,0161	+0,0929	+0,2029	-0,1101
0,4	**+0,0771**	**+0,0936**	-0,0214	-0,0071	+0,1461	-0,1533
0,5	+0,0714	+0,0982	-0,0268	-0,1071	+0,1007	-0,2079
0,6	+0,0557	+0,0879	-0,0321	-0,2071	+0,0660	-0,2731
0,7	+0,0300	+0,0675	-0,0375	-0,3071	+0,0410	-0,3481
0,8	-0,0057	+0,0374	-0,0431	-0,4071	+0,0247	-0,4319
0,85	-0,0273	+0,0248	-0,0522			
0,9	-0,0514	+0,0163	-0,0677	-0,5071	+0,0160	-0,5231
0,95	-0,0780	+0,0139	-0,0920			
1,0	**-0,1071**	+0,0134	**-0,1205**	**-0,6071**	+0,0134	**-0,6205**
	Deschiderile din mijloc			Deschiderile din mijloc		
0	**-0,1071**	+0,0134	**-0,1205**	**+0,5357**	**+0,6027**	-0,0670
0,05	-0,0816	+0,0116	-0,0932			
0,1	-0,0586	+0,0146	-0,0721	+0,4357	+0,5064	-0,0707
0,15	-0,0380	+0,0198	-0,0578			
0,2	-0,0200	+0,0300	-0,0500	+0,3357	+0,4187	-0,0830
0,3	+0,0086	+0,0568	-0,0482	+0,2357	+0,3410	-0,1153
0,4	+0,0271	+0,0736	-0,0464	+0,1357	+0,2742	-0,1385
0,5	**+0,0357**	**+0,0804**	-0,0446	+0,0357	+0,2190	-0,1833
0,6	+0,0343	+0,0772	-0,0429	-0,0643	+0,1755	-0,2398
0,7	+0,0229	+0,0639	-0,0411	-0,1643	+0,1435	-0,3078
0,8	+0,0014	+0,0417	-0,0403	-0,2643	+0,1222	-0,3865
0,85	-0,0130	+0,0345	-0,0475			
0,9	-0,0300	+0,0311	-0,0611	-0,3643	+0,1106	-0,4749
0,95	-0,0495	+0,0317	-0,0812			
1,0	**-0,0714**	+0,0357	**-0,1071**	**-0,4643**	+0,1071	**-0,5714**
	gl^2	pl^2	pl^2	gl	pl	pl
	$V_{Amax} = 0{,}3929gl + 0{,}4464pl$			$V_{Bmax} = 1{,}1428gl + 1{,}2232pl$		
	$V_{Cmax} = 0{,}9286gl + 1{,}1428pl$					

Tabelul I.4 Grinzi cu cinci deschideri egale

Secțiunea la $\xi = x/l$	Momente încovoietoare			Forțe tăietoare		
	Influența lui g	Influența lui p		Influența lui g	Influența lui p	
	a	b	c	α	β	γ
	Deschideri marginale			Deschideri marginale		
0	0	0	0	**+0,3947**	**+0,4474**	-0,0526
0,1	+0,0345	+0,0397	-0,0053	+0,2947	+0,3537	-0,0590
0,2	+0,0589	+0,0695	-0,0105	+0,1947	+0,2726	-0,0779
0,3	+0,0734	+0,0892	-0,0158	+0,0947	+0,2039	-0,1091
0,4	**+0,0779**	**+0,0989**	-0,0211	-0,0053	+0,1471	-0,1524
0,5	+0,0724	+0,0987	-0,0263	-0,1053	+0,1017	-0,2069
0,6	+0,0568	+0,0884	-0,0316	-0,2053	+0,0669	-0,2722
0,7	+0,0313	+0,0682	-0,0368	-0,3053	+0,0419	-0,3472
0,8	-0,0042	+0,0381	-0,0423	-0,4053	+0,0257	-0,4309
0,9	-0,0497	+0,0183	-0,0680	-0,5053	+0,0169	-0,5222
1,0	**-0,1053**	+0,0144	**-0,1196**	**-0,6053**	+0,0144	**-0,6196**

la $\xi = x/l$	Influența lui g	Influența lui p		Influența lui g	Influența lui p	
	a	b	c	α	β	γ
	Prima deschidere interioară			Prima deschidere interioară		
0	**-0,1053**	+0,0144	**-0,1196**	**+0,5263**	**+0,5981**	-0,0718
0,1	-0,0576	+0,0140	-0,0717	+0,4263	+0,5018	-0,0755
0,2	-0,0200	+0,0300	-0,0500	+0,3263	+0,4141	-0,0878
0,3	-0,0076	+0,0563	-0,0478	+0,2263	+0,3364	-0,1101
0,4	+0,0253	+0,0726	-0,0474	+0,1263	+0,2697	-0,1434
0,5	**+0,0329**	**+0,0789**	-0,0461	+0,0263	+0,2146	-0,1882
0,6	+0,0305	+0,0753	-0,0447	-0,0737	+0,1711	-0,2448
0,7	+0,0182	+0,0616	-0,0434	-0,1737	+0,1391	-0,3182
0,8	-0,0042	+0,0389	-0,0432	-0,2737	+0,1179	-0,3961
0,9	-0,0366	+0,0280	-0,0646	-0,3737	+0,1063	-0,4800
1,0	**-0,0789**	+0,0323	**-0,1112**	**-0,4737**	+0,1029	**-0,5766**
	Deschiderea mijlocie			Deschiderea mijlocie		
0	**-0,0789**	+0,0323	**-0,1112**	**+0,5000**	**+0,5909**	-0,0909
0,1	-0,0339	+0,0293	-0,0633	+0,4000	+0,4944	-0,0944
0,2	+0,0011	+0,0416	-0,0405	+0,3000	+0,4063	-0,1063
0,3	+0,0261	+0,0655	-0,0395	+0,2000	+0,3279	-0,1279
0,4	+0,0411	+0,0805	-0,0395	+0,1000	+0,2604	-0,1604
0,5	**+0,0461**	**+0,0855**	-0,0395	0	+0,2045	**-0,2045**
	gl^2	pl^2	pl^2	gl	pl	pl

$V_{Amax} = 0{,}3947gl + 0{,}4474pl$ $\quad V_{Bmax} = 1{,}1316gl + 1{,}2177pl$

$V_{Cmax} = 0{,}9737gl + 1{,}1675pl$

Placa dreptunghiulară, încărcată uniform, cu două laturi vecine încastrate și celelalte două libere: coeficienții de calcul în domeniul elastic.

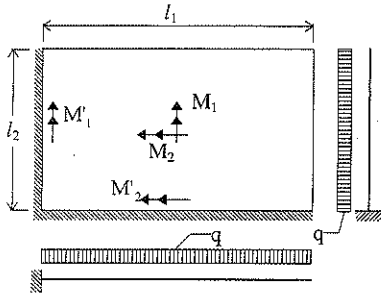


Fig. I.1

$$\lambda = \frac{l_2}{l_1};\ M_1 = k_1 \cdot q \cdot l_1^2;\ M'_1 = k'_1 \cdot q \cdot l_1^2;$$

$$M_2 = k_2 \cdot q \cdot l_1^2;\ M'_2 = k'_2 \cdot q \cdot l_1^2$$

Tabelul I.5

λ	k_1	k'_1	k_2	k'_2
1,0	0,0296	-0,2660	0,0296	-0,02660
1,2	0,0348	-0,3236	0,0461	-0,3115
1,4	0,0319	-0,3683	0,0521	-0,3455
1,6	0,0266	-0,4016	0,0561	-0,3687
1,8	0,0203	-0,4260	0,0572	-0,3864
2,0	0,0139	-0,4438	0,0567	-0,3975

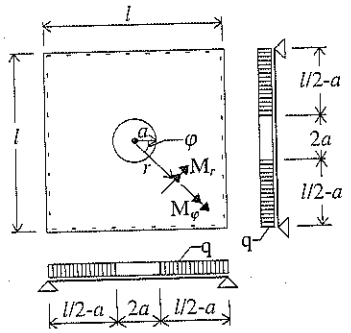


Fig. I.2

Tabelul I.6

a/l	φ	r/l	k_1	r/l	k_2
0,050	0°	0,050	12,3	-	-
	45°	0,050	12,2	-	-
0,100	0°	0,100	13,9	-	-
	45°	0,100	13,4	-	-
0,125	0°	0,125	15,2	0,280	40,0
	45°	0,125	14,2	0,230	63,3
	45°	0,707	26,2	0,710	-26,2
0,250	0°	0,250	31,8	0,360	83,2
	45°	0,250	21,0	0,270	2.000,0
	45°	0,707	28,4	0,707	-28,4
0,375	0°	0,375	182,0	0,430	308
	45°	0,375	40,0	0,380	∞
	45°	0,707	47,6	0,707	-47,6

$$M_r = \frac{q \cdot l^2}{k_1};\ M_\varphi = \frac{q \cdot l^2}{k_2}$$

Placa circulară, încărcată uniform, simplu rezemată pe contur: coeficienții de calcul în domeniul elastic.

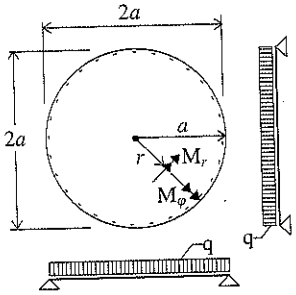


Fig. I.3

$$r = 0 \Rightarrow\ w_{max} = 0{,}78\frac{q \cdot a^4}{E_b \cdot h_p^3}$$

$$M_r = 0{,}200\,q \cdot a^2;\ M_\varphi = 0{,}200\,q \cdot a^2;$$

$$r = a \Rightarrow\ M_r = 0;\ M_\varphi = 0{,}100\,q \cdot a^2$$

Placa circulară, încărcată uniform, încastrată pe contur: coeficienții de calcul în domeniul elastic.

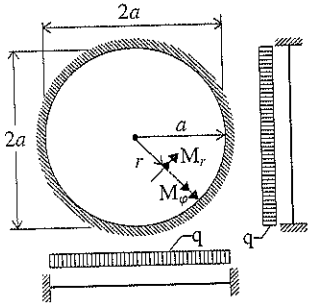


Fig. I.4

$$r = 0 \Rightarrow\ w_{max} = 0{,}18\frac{q \cdot a^4}{E_b \cdot h_p^3}$$

$$M_r = 0{,}075\,q \cdot a^2;\ M_\varphi = 0{,}075\,q \cdot a^2;$$

$$r = a \Rightarrow\ M_r = -0{,}125\,q \cdot a^2;\ M_\varphi = -0{,}025\,q \cdot a^2$$

			bol	Bc 3,5	Bc 5	Bc 7,5	Bc 10	Bc 15	Bc 20	Bc 25	Bc 30	Bc 35	Bc 40	Bc 50	Bc 60
Rezistențele caracteristice ale betonului (N/mm^2)															
Compresiune			R_{ck}	3,0	4,5	6,4	8,5	12,5	16,6	20,5	24,3	28,0	31,6	38,5	45,0
Întindere	Beton obișnuit		R_{tk}	-	-	0,76	0,92	1,19	1,43	1,65	1,86	2,03	2,20	2,51	2,78
	Beton cu agregate ușoare cu subcategoria de densitate	1,6				0,59	0,72	0,93	-	-	-	-	-	-	-
		1,7 1,8				0,64	0,77	1,00	1,20	1,38	1,56	-			
		1,9 2,0				-	-	-	1,23	1,42	1,59	1,74			
Rezistențele de calcul ale betonului, valori de bază (N/mm^2)															
Compresiune			R_c^*	2,2	3,2	4,7	6,5	9,5	12,5	15,0	18,0	20,5	22,5	26,5	31,5
Întindere	Beton obișnuit		R_t^*	-	-	0,50	0,60	0,80	0,95	1,10	1,25	1,35	1,45	1,65	1,85
	Beton cu agregate ușoare cu subcategoria de densitate	1,6		-	-	0,40	0,50	0,65	-	-	-	-	-	-	-
		1,7 1,8		-	-	0,45	0,55	0,70	0,80	0,90	1,00	-	-	-	-
		1,9 2,0		-	-	-	-	-	0,85	0,95	1,05	1,10	-	-	-

Notă: valorile subliniate sunt rezultatul multiplicării cu un coeficient suplimentar egal cu 0,95.

Tabelul II.2 Valorile modulului de elasticitate al betonului obișnuit solicitat la compresiune pentru încărcări de scurtă durată [2]

Clasa de beton	Bc 7,5	Bc 10	Bc 15	Bc 20	Bc 25	Bc 30	Bc 35	Bc 40	Bc 50	Bc 60
E_b (N/mm^2)	14.000	21.000	24.000	27.000	30.000	32.500	34.500	36.000	38.000	40.000

Tabelul II.3 Rezistențele caracteristice și de calcul pentru armături nepretensionate [2]

Marca de oțel	Diametrul nominal (mm)	Rezistența caracteristică R_{ak} (N/mm^2)	Rezistența de calcul (valori de bază) R_a^*
PC 60	6...12	420	350
	14...28	405	
	32...40	395	
PC 52	6...14	355	300
	16...28	345	
	32...40	335	290
OB 37	6...12	255	210
	14...40	235	
STNB și STBP	3...4	490	380
	4,5...7,1	440	
	8...10	390	325

Distanța dintre bare (cm)	Diametrul barelor (mm) 5	6	7	8	10	12	14	16	18	20
7,0	2,80	4,04	5,50	7,18	11,22	16,16	21,99	28,73	36,36	44,87
7,5	2,62	3,77	5,13	6,70	10,47	15,08	20,52	26,81	33,93	41,88
8,0	2,45	3,53	4,81	6,28	9,82	14,14	19,24	25,14	31,81	39,26
8,5	2,31	3,33	4,53	5,91	9,24	13,31	18,11	23,66	29,94	36,95
9,0	2,18	3,14	4,28	5,59	8,73	12,57	17,10	22,34	28,28	34,90
9,5	2,07	2,98	4,05	5,29	8,27	11,90	16,20	21,17	26,79	33,06
10,0	1,96	2,83	3,85	5,03	7,85	11,31	15,39	20,11	25,45	31,41
10,5	1,87	2,69	3,67	4,79	7,48	10,77	14,66	19,15	24,24	29,91
11,0	1,78	2,57	3,50	4,57	7,14	10,28	13,99	18,28	23,14	28,55
11,5	1,71	2,46	3,35	4,37	6,83	9,84	13,39	17,49	22,13	27,31
12,0	1,64	2,36	3,21	4,19	6,54	9,42	12,83	16,76	21,21	26,17
12,5	1,57	2,26	3,08	4,02	6,28	9,05	12,32	16,09	20,36	25,13
13,0	1,51	2,17	2,96	3,87	6,04	8,70	11,84	15,47	19,58	24,16
13,5	1,45	2,09	2,85	3,72	5,82	8,38	11,40	14,90	18,85	23,27
14,0	1,40	2,02	2,75	3,59	5,61	8,08	11,00	14,36	18,18	22,44
14,5	1,35	1,95	2,65	3,47	5,42	7,80	10,62	13,87	17,55	21,66
15,0	1,31	1,89	2,57	3,35	5,24	7,54	10,26	13,41	16,97	20,94
15,5	1,27	1,82	2,48	3,24	5,07	7,30	9,93	12,97	16,42	20,27
16,0	1,23	1,77	2,41	3,14	4,91	7,07	9,62	12,57	15,90	19,64
16,5	1,19	1,71	2,33	3,05	4,76	6,85	9,33	12,19	15,42	19,04
17,0	1,15	1,66	2,26	2,96	4,62	6,65	9,05	11,83	14,97	18,48
17,5	1,12	1,62	2,20	2,87	4,49	6,46	8,79	11,49	14,54	17,95
18,0	1,09	1,57	2,14	2,79	4,36	6,28	8,55	11,17	14,14	17,46
18,5	1,06	1,53	2,08	2,72	4,25	6,11	8,32	10,87	13,76	16,94
19,0	1,03	1,49	2,03	2,65	4,13	5,95	8,10	10,58	13,39	16,54
19,5	1,01	1,45	1,97	2,58	4,03	5,80	7,89	10,31	13,05	16,11
20,0	0,98	1,41	1,92	2,51	3,93	5,65	7,69	10,05	12,72	15,72

Tabelul II.5 Aria secțiunii transversale (în cm^2) și masa barelor din oțel

Diametrul (mm)	Numărul de bare 1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Masa (kg/m)
3	0,071	0,14	0,21	0,28	0,35	0,43	0,50	0,57	0,64	0,71	0,055
3,55	0,099	0,20	0,30	0,40	0,50	0,59	0,69	0,79	0,89	0,99	0,078
4	0,126	0,25	0,38	0,50	0,63	0,76	0,88	1,01	1,13	1,26	0,099
4,5	0,159	0,32	0,48	0,64	0,80	0,95	1,11	1,27	1,43	1,59	0,125
5	0,196	0,39	0,59	0,78	0,98	1,18	1,37	1,57	1,76	1,96	0,154
5,6	0,246	0,49	0,74	0,98	1,23	1,48	1,72	1,97	2,21	2,46	0,193
6	0,283	0,57	0,85	1,13	1,42	1,70	1,98	2,26	2,55	2,83	0,222
6,5	0,331	0,66	0,99	1,32	1,65	1,98	2,31	2,64	2,97	3,31	0,250
7	0,385	0,77	1,15	1,54	1,92	2,31	2,69	3,08	3,46	3,85	0,302
7,1	0,396	0,79	1,19	1,58	1,98	2,38	2,77	3,17	3,56	3,96	0,311
8	0,503	1,01	1,51	2,01	2,51	3,02	3,52	4,02	4,53	5,03	0,395
9	0,636	1,27	1,91	2,54	3,18	3,82	4,45	5,09	5,72	6,36	0,0499
10	0,785	1,57	2,35	3,14	3,92	4,71	5,49	6,28	7,06	7,85	0,617
12	1,130	2,26	3,39	4,52	5,65	6,78	7,91	9,04	10,17	11,30	0,888
14	1,540	3,08	4,62	6,16	7,70	9,24	10,78	12,32	13,86	15,40	1,210
16	2,010	4,02	6,03	8,04	10,05	12,06	14,07	16,08	18,09	20,10	1,580
18	2,540	5,08	7,62	10,16	12,70	15,24	17,78	20,32	22,86	25,40	1,990
20	3,140	6,28	9,42	12,56	15,70	18,84	21,98	25,12	28,26	31,40	2,460
22	3,800	7,60	11,40	15,20	19,00	22,80	26,60	30,40	34,20	38,00	2,980
25	4,910	9,82	14,73	19,64	24,55	29,46	34,37	39,28	44,19	49,10	3,850
28	6,160	12,32	18,48	24,64	30,80	36,96	43,12	49,28	55,44	61,60	4,840

Nr. crt.	Indicativ	Distanțe (mm) între barele longitudinale	Distanțe (mm) între barele transversale	Diametre (mm) bare longitudinale	Diametre (mm) bare transversale	Greutate (kg/m²)
	Plase cu ochiuri pătrate					
1	101 GQ 63	200	200	4	4	0,99
2	102 GQ 71	100	100	3	3	1,10
3	103 GQ 84	150	150	4	4	1,32
4	104 GQ 98	200	200	5	4	1,26
5	105 GQ 106	150	150	4,5	4,5	1,66
6	106 GQ 126	100	100	4	4	1,98
7	107 GQ 131	150	150	5	4	1,69
8	108 GQ 159	100	100	4,5	4	2,24
9	109 GQ 159	100	100	4,5	4,5	2,53
10	110 GQ 196	100	100	5	4	2,53
11	111 GQ 196	100	100	5	5	3,08
12	112 GQ 246	100	100	5,6	4	2,92
13	113 GQ 246	100	100	5,6	5,6	3,86
14	114 GQ 283	100	100	6	4	3,21
15	115 GQ 283	100	100	6	5	3,76
16	116 GQ 348	100	100	6	6	4,44
17	117 GQ 332	100	100	6,5	4	3,60
18	118 GQ 332	100	100	6,5	6,5	5,21
19	119 GQ 348	200	200	10	10	6,16
20	120 GQ 296	100	100	7,1	4,5	4,36
21	121 GQ 396	100	100	7,1	7,1	6,22
22	122 GQ 447	100	100	7,1	8	7,05
	Plase cu ochiuri dreptunghiulare					
23	123 GR 126	100	200	4	4	1,48
24	124 GR 159	100	200	4,5	4	1,74
25	125 GR 196	100	200	5	4	2,03
26	126 GR 246	100	200	5,6	4	2,43
27	127 GR 283	100	200	6	4	2,72
28	128 GR 332	100	200	6,5	4	3,14
29	129 GR 396	100	200	7,1	4,5	3,74
30	130 GR 447	100	200	8	5	4,72

Tabelul II.7 Ariile secțiunilor transversale ale barelor plaselor sudate

Diametrul barei (mm)	Aria secțiunii unei bare (mm²)	Aria secțiunii (cm²/m) pentru distanța între bare(mm): 100	150	200
3	7,07	0,71	0,47	0,35
4	12,56	1,26	0,84	0,63
4,5	15,90	1,59	1,06	0,79
5	19,63	1,96	1,31	0,98
5,6	24,63	2,46	1,64	1,23
6	28,27	2,83	1,88	1,41
6,5	33,18	3,32	2,21	1,66
7,1	39,59	3,96	2,64	1,98
8	50,27	5,03	3,35	2,51
10	78,54	7,85	5,24	3,93

caracteristice ale betonului [7]

Clasa de rezistență a betonului	C 12/15	C 16/20	C 20/25	C 25/30	C 30/37	C 35/45	C 40/50	C 45/55	C 50/60
f_{ck} (N/mm²)	12	16	20	25	30	35	40	45	50
f_{ctm} (N/mm²)	1,6	1,9	2,2	2,6	2,9	3,2	3,5	3,8	4,1
$f_{ctk\,0,05}$ (N/mm²)	1,1	1,3	1,5	1,8	2,0	2,2	2,5	2,7	2,9
$f_{ctk\,0,95}$ (N/mm²	2,0	2,5	2,9	3,3	3,8	4,2	4,6	4,9	5,3

Notă:
- clasificarea betonului, de exemplu C 20/25, se referă la rezistența pe cilindru /cub;
- f_{ck} este rezistența caracteristică la compresiune a betonului (rezistența cilindrică minimă);
- f_{ctm} este rezistența caracteristică medie la întindere a betonului;
- $f_{ctk\,0,05}$ este rezistența caracteristică la întindere a betonului, corespunzătoare unei deformații unitare de 0,50‰;
- $f_{ctk\,0,95}$ este rezistența caracteristică la întindere a betonului, corespunzătoare unei deformații unitare de 0,95‰.

Tabelul III.2 Valorile modulului de elasticitate secant [7]

Clasa de rezistență a betonului	C 12/15	C 16/20	C 20/25	C 25/30	C 30/37	C 35/45	C 40/50	C 45/55	C 50/60
E_{cm} (N/mm²)	26.000	27.500	29.000	30.500	32.000	33.500	35.000	36.000	37.000

Tabelul III.3 Clase de expunere a plăcilor de beton armat în funcție de condițiile de mediu [6]

Clasa de expunere		Exemple de condiții de mediu
1 mediu uscat		– interiorul clădirilor pentru locuințe sau birouri.
2 mediu umed	a fără îngheț	– interiorul clădirilor unde umiditatea este mare (de exemplu spălătorii); – părți exterioare; – părți aflate în sol neagresiv și/sau apă.
	b cu îngheț	– părți exterioare expuse la îngheț; – părți interioare când umiditatea este mare și sunt expuse la îngheț.
3 mediu umed cu îngheț și săruri de dezgheț		– părți interioare și exterioare expuse la îngheț și la agenți de dezgheț.
4 mediu marin	a fără îngheț	– părți situate în zone împroșcate de apa mării; – părți aflate în aer salin (zonă de coastă).
	b cu îngheț	– părți situate în zone împroșcate de apa mării; – părți aflate în aer salin și expuse la îngheț.
Următoarele clase pot apare singure sau în combinație cu clasele de mai sus:		
5 mediu marin	a	– mediu ușor agresiv chimic (gaz, lichid sau solid); – atmosferă industrială agresivă.
	b	– mediu moderat agresiv chimic (gaz, lichid sau solid).
	c	– mediu puternic agresiv chimic (gaz, lichid sau solid).

Tabelul III.4 Stratul de acoperire minimă c_{min} a armăturii pasive înglobată în beton cu greutate normală [7]

Clasele de expunere	1	2a	2b	3	4a	4b	5a	5b	5c
c_{min} (mm)	15	20	25	40	40	40	25	30	40

Lățime (m/m)	Suprapunere longitudinală	Indicativ plasă	Configurația plaselor: distanțe între bare (mm)	Configurația plaselor: diametre bare interioare (mm)	Configurația plaselor: diametre bare suprapunere (mm)	Număr bare longitudinale de suprapunere: stânga	Număr bare longitudinale de suprapunere: dreapta	Arii lungime lățime (cm^2/m)	Greutăți plasă (kg)	Greutăți pe m^2 plasă (kg)
5,00 / 2,15	fără	Q 131	150 150	5,0 5,0	-	-	-	1,31 1,31	22,5	2,09
		Q 188	150 150	6,0 6,0	-	-	-	1,88 1,88	32,4	3,01
	cu	Q221	150 150	6,5 6,5	5,0	4	4	2,21 2,21	33,7	3,14
		Q 257	150 150	7,0 7,0	5,0	4	4	2,57 2,57	38,2	3,55
		Q 377	150 150	6,0d 8,5	6,0	4	4	3,77 3,78	56,0	5,21
6,00 / 2,15		Q 513	150 100	7,0d 8,0	7,0	4	4	5,13 5,03	90,0	6,97
5,00 / 2,15	fără	R 131	150 250	5,0 4,0	-	-	-	1,31 0,50	15,8	1,47
		R 188	150 250	6,0 4,0	-	-	-	1,88 0,50	20,9	1,95
	cu	R 221	150 250	6,5 4,0	5,0	2	2	2,21 0,50	21,6	2,01
		R 257	150 250	7,0 4,5	5,0	2	2	2,57 0,64	25,1	2,33
		R 317	150 250	5,5d 4,5	5,5	2	2	3,17 0,64	29,7	2,76
		R 377	150 250	6,0d 5,0	6,0	2	2	3,77 0,78	35,5	3,30
		R 443	150 250	6,5d 5,5	6,5	2	2	4,43 0,95	41,8	3,89
6,00 / 2,15		R 513	150 250	7,0d 6,0	7,0	2	2	5,13 1,13	58,6	4,54
		R 589	150 250	7,5d 6,5	7,5	2	2	5,89 1,33	67,5	5,24
		K 664	100 250	6,5d 6,5	6,5	4	4	6,64 1,33	69,6	5,39
		K 770	100 250	7,0d 7,0	7,0	4	4	7,70 1,54	80,8	6,27
		K 884	100 250	7,5d 7,5	7,5	4	4	8,84 1,77	92,6	7,20
5,00 / 2,15	fără	N 47	150 150	3,0 3,0	-	-	-	0,47 0,47	8,2	0,76
		N 94	75 75	3,0 3,0	-	-	-	0,94 0,94	15,9	1,48
		N 141	50 50	3,0 3,0	-	-	-	1,41 1,41	23,7	2,20

Tabelul III.6 Suprapunerea plaselor sudate tipizate [9]

Bare rezistență	2 bare de înădire (n=2)	4 bare de înădire (n=4)
simple	R 221; R 257	Q 221; Q 257
duble ("d")	≥ 15 R 317, R 377; R 443; R 513; R 589	≥ 47[5] Q 377, Q 513; K 664; K 770; K 884

Notă: simbolul "d" înseamnă bară dublă;

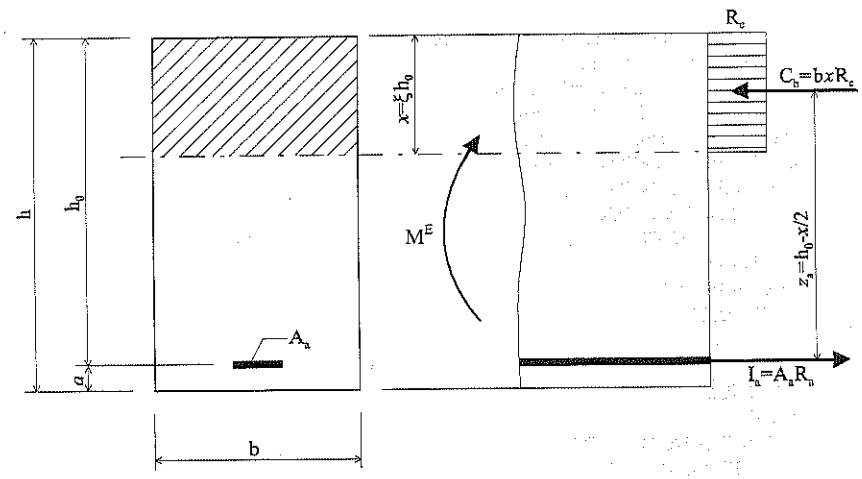


Fig. IV.1 Echilibrul secțiunilor simplu armate

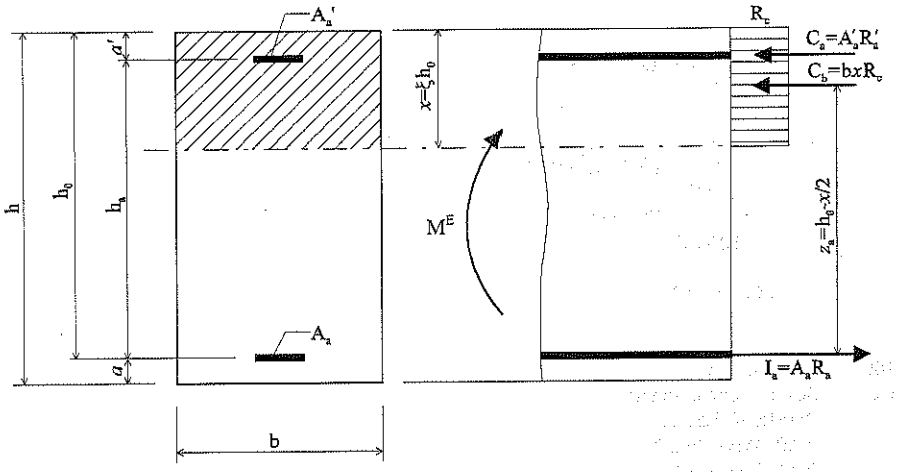


Fig. IV.2 Echilibrul secțiunilor dublu armate

CC	Dimensionarea sectiunilor dreptunghiulare incovoiate din beton armat
C	MEXT: momentul incovoietor in sectiune
CC	BE: latimea sectiunii (la placi de regula BE=1000 mm)
CCC	HT: inaltimea sectiunii
CC	RC: rezistenta de calcul la compresiune a betonului
C	RA: rezistenta de calcul a armaturii

```
C       AMPRIM: distanta de la fibra extrema comprimata la centrul
C               de greutate al armaturii comprimate
CC      MB: momentul redus limita
C       CSIB: inaltimea relativa limita a zonei comprimate
CC      AA: aria rezultata din calcul a armaturii intinse
CCC     AAPRIM: aria rezultata din calcul a armaturii comprimate
        OPEN (5,FILE='INCOV.DAT')
        OPEN (6,FILE='INCOV.OUT')
        REAL MEXT, MB, MRED
        READ (5,*) MEXT, RC, RA, BE, HT, AM, AMPRIM, MB, CSIB
        HU=HT-AM
        MRED=MEXT/BE/(HU**2)/RC
        IF (MRED.GT.MB) THEN
        GOTO 100
        ELSE
        CONTINUE
        ENDIF
        PC=100*RC/RA*(1-(SQRT(1-2*MRED))
        IF (PC.GE.0.1/100) THEN
        AA=PC/100*BE*HU
        AAPRIM=0
        GOTO 101
        ELSE
        CONTINUE
        ENDIF
        Sectiune simplu armata
        IF (PC.LT.0.045/100) THEN
        PMIN=0.05/100
        ELSE
                IF (PC.GE.0.045/100.AND.PC.LT.0.085/100) THEN
                        PMIN=1.15*PC
                ELSE
                        PMIN=0.1/100
                ENDIF
        ENDIF
        AA=PC/100*BE*HU
        AAPRIM=0
        GOTO 101
100     CONTINUE
CC      Sectiune dublu armata
        IF (MRED.LE.0.5)
        AAPRIM=(MRED-MB)*BE*(HU**2)*RC/(HU-AMPRIM)/RA
        P1MAX=CSIB*RC/RA*100
        AA=P1MAX/100*BE*HU+AAPRIM
        GOTO 101
        ELSE
CC      Trebuie majorata sectiunea
        WRITE (6,1000)
1000    FORMAT ('Trebuie majorata sectiunea)
        STOP
101     CONTINUE
        WRITE (6,1001)
1001    FORMAT ('Aria armaturii intinse si respectiv comprimate')
        WRITE (6,1002) AA, AAPRIM
1002    FORMAT (F5.2, F5.2)
        END
```

CC Momentul capabil al sectiunilor dreptunghiulare simplu armate

```
C       MCAP: momentul incovoietor capabil al sectiunii
CC      BE: latimea sectiunii (la placi de regula BE=1000 mm)
CCC     HT: inaltimea sectiunii
CC      RC: rezistenta de calcul la compresiune a betonului
C       RA: rezistenta de calcul a armaturii
CC      AM: distanta de la fibra extrema de beton intins la centrul
CC          de greutate al armaturii intinse
CC      MB: momentul redus limita
C       CSIB: inaltimea relativa limita a zonei comprimate
CC      AA: aria de calcul a armaturii intinse
        OPEN (5,FILE='MCAPSA.DAT')
        OPEN (6,FILE='MCAPSA.OUT')
        REAL MCAP, MB, MRED
        READ (5,*) RC, RA, BE, HT, AA, AM, MB, CSIB
        HU=HT-AM
        CSI=AA/BE/HU*RA/RC
        IF (CSI.LE.CSIB) THE
        MRED=CSI*(1-CSI/2)
        MCAP=MRED*BE*(HU**2)*RC
        GOTO 151
        ELSE
        MCAP=MB*BE*(HU**2)*RC
151     CONTINUE
        WRITE (6,1001)
1001    FORMAT ('Momentul capabil al sectiunii')
        WRITE (6,1002) MCAP
1002    FORMAT (F7.3)
        END
```

CC Momentul capabil al sectiunilor dreptunghiulare dublu armate

```
C       MCAP: momentul incovoietor capabil al sectiunii
CC      BE: latimea sectiunii (la placi de regula BE=1000 mm)
CCC     HT: inaltimea sectiunii
CC      RC: rezistenta de calcul la compresiune a betonului
C       RA: rezistenta de calcul a armaturii
CC      AM: distanta de la fibra extrema de beton intins la centrul
CC          de greutate al armaturii intinse
C       AMPRIM: distanta de la fibra extrema comprimata la centrul
C               de greutate al armaturii comprimate
CC      MB: momentul redus limita
C       CSIB: inaltimea relativa limita a zonei comprimate
CC      AA: aria de calcul a armaturii intinse
CCC     AAPRIM: aria de calcul a armaturii comprimate
        OPEN (5,FILE='MCAPDA.DAT')
        OPEN (6,FILE='MCAPDA.OUT')
        REAL MCAP, MB, MRED
        READ (5,*) RC, RA, BE, HT, AA, AAPRIM, AM, AMPRIM, MB, CSIB
        HU=HT-AM
        PC=AA/BE/HU*100
        PCPRIM=AAPRIM/BE/HU*100
        CSI=(PC-PCPRIM)/100*RA/RC
```

```
      ELSE
            IF (CSI.LT.2*AMPRIM/HU) THEN
                  MCAP=AA*RA*(HU-AMPRIM)
            ELSE
                  MRED=CSI(1-CSI/2)
                  MCAP=MRED*BE*(HU**2)*RC+AAPRIM*RA*(HU-AMPRIM)
            ENDIF
      ENDIF
      GOTO 201
201   CONTINUE
      WRITE (6,1001)
1001  FORMAT ('Momentul capabil al sectiunii')
      WRITE (6,1002) MCAP
1002  FORMAT (F7.3)
      END
```


BIBLIOGRAFIE

[1]. STAS 10107/1-77: *Construcţii civile, industriale şi agricole. Calculul şi alcătuirea planşeelor din beton armat şi beton precomprimat. Prevederi generale.*

[2]. STAS 10107/0-90: *Construcţii civile, industriale şi agricole. Calculul şi alcătuirea elementelor din beton, beton armat şi beton precomprimat.*

[3]. STAS 10107/2-77: *Construcţii civile, industriale şi agricole. Planşee curente din plăci şi grinzi din beton armat şi precomprimat. Prescripţii de calcul şi alcătuire.*

[4]. STAS 10101/0-75: *Acţiuni în construcţii. Clasificarea şi gruparea acţiunilor.*

[5]. STAS 10101/0A-77: *Acţiuni în construcţii. Clasificarea şi gruparea acţiunilor pentru construcţii civile şi industriale.*

[6]. STAS 10101/21-92: *Acţiuni în construcţii. Încărcări date de zăpadă.*

[7]. Eurocode 2, *predraft CEN ENV 1992-1-1:1991.*

[8]. Concise Eurocode, *British Cement Association, July 1993.*

[9]. DIN 488, *Bst 500/550 RK (IV R).*

CUPRINS

1. ASPECTE GENERALE PRIVIND PROIECTAREA PLĂCILOR DIN BETON ARMAT 1
1.1 Generalităţi 1
1.2 Prevederi generale pentru calculul plăcilor 2
1.2.1 Reazemele plăcilor. Deschideri de calcul 2
1.2.2 Metode de analiză 3
1.2.3 Plăci acţionate de încărcări locale 5
1.2.4 Plăci cu goluri 7
1.2.5 Calculul reacţiunilor plăcilor 8
1.3 Prescripţii constructive şi de armare 8
1.3.1 Stratul de acoperire cu beton 8
1.3.2 Grosimea plăcilor 10
1.3.3 Ancorarea armăturilor longitudinale 10
1.3.4 Înădirea armăturilor 12
1.3.5 Armături de rezistenţă 14
1.3.6 Prevederi de armare pentru plăcile armate pe o direcţie 15
1.3.7 Prevederi de armare pentru plăcile armate pe două direcţii 18
2. CALCULUL STATIC AL PLĂCILOR MONOLITE CONTINUE ARMATE PE O DIRECŢIE 22
2.1 Particularităţi de calcul static 22
2.2 Calculul static în domeniul elastic 22
2.2.1 Plăci ale căror deschideri nu diferă cu mai mult de 20% ($l_{i,i+1} \geq 0,8 l_{max}$) şi încărcările totale (g+p) uniform distribuite 23
2.2.2 Plăci ale căror deschideri nu diferă cu mai mult de 20% ($l_{i,i+1} \geq 0,8 l_{max}$) şi încărcările temporare (p) cu mai multe scheme de încărcare 23
2.3 Calculul static simplificat în domeniul plastic 24
2.3.1 Plăci ale căror deschideri nu diferă cu mai mult de 10% ($l_{i,i+1} \geq 0,9 l_{max}$) şi încărcările totale (g+p) uniform distribuite 24
2.3.2 Plăci ale căror deschideri nu diferă cu mai mult de 40% ($l_{i,i+1} \geq 0,6 l_{max}$), încărcările totale (g+p) uniform distribuite şi $p/(g+p) \leq 1/3$ 25
2.3.3 Plăci ale căror deschideri nu diferă cu mai mult de 10% ($l_{i,i+1} \geq 0,9 l_{max}$) şi încărcările temporare (p) cu mai multe scheme de încărcare 26
2.4 Calculul static în domeniul plastic prin modificarea rezultatelor calculului static în domeniul elastic 27
2.5 Exemple de calcul 28
Exemplul 2.5.1 28
Exemplul 2.5.2 34
Exemplul 2.5.3 39
Exemplul 2.5.4 45
Exemplul 2.5.5 50
Exemplul 2.5.6 55

3. CALCULUL PLĂCILOR MONOLITE INDEPENDENTE ARMATE PE DOUĂ DIRECȚII 59
3.1 Calculul static în domeniul elastic 59
3.1.1 Metoda fâșiilor 59
3.1.2 Metoda analitică 64
3.2 Calculul static simplificat în domeniul plastic prin metoda echilibrului limită 67
3.2.1 Noțiuni fundamentale 67
3.2.2 Plăci dreptunghiulare rezemate pe contur 70
3.2.3 Plăci dreptunghiulare rezemate pe trei laturi 71
3.3 Calculul static în domeniul plastic prin modificarea rezultatelor calculului static în domeniul elastic 72
3.4 Exemple de calcul 73
Exemplul 3.4.1 73
Exemplul 3.4.2 76
Exemplul 3.4.3 80
4. CALCULUL PLĂCILOR MONOLITE CONTINUE ARMATE PE DOUĂ DIRECȚII 84
4.1 Calculul static în domeniul elastic 84
4.1.1 Plăci rezemate pe tot conturul ale căror deschideri nu diferă cu mai mult de 30% pe ambele direcții ($l_{xi} \geq 0,7 l_{xmax}$, $0,7 l_{yi} \geq l_{ymax}$) și încărcările temporare (p) cu mai multe scheme de încărcare 84
4.1.2 Plăci rezemate pe tot conturul ale căror deschideri nu diferă cu mai mult de 10% pe ambele direcții ($l_{xi} \geq 0,9 l_{xmax}$, $0,9 l_{yi} \geq l_{ymax}$) și încărcările temporare (p) cu mai multe scheme de încărcare 87
4.2 Calculul static simplificat în domeniul plastic prin metoda echilibrului limită 90
4.3 Calculul static în domeniul plastic prin modificarea rezultatelor calculului static în domeniul elastic 91
4.4 Exemple de calcul 92
Exemplul 4.4.1 92
Exemplul 4.4.2 106
Exemplul 4.4.3 115
5. PANOURI ȘI SEMIPANOURI PREFABRICATE DE PLANȘEU CU INIMĂ PLINĂ 126
5.1 Soluții constructive 126
5.2 Detalii de rezemare, îmbinări 127
5.3 Calculul static 131
5.4 Exemple de calcul 135
Exemplul 5.4.1 135
6. CALCULUL PLĂCILOR DE BETON ARMAT PE BAZA PREVEDERILOR EUROCODULUI EC 2 140
6.1 Domeniu 140
6.2 Metode de calcul acceptabile 140
6.3 Calculul liniar cu sau fără redistribuire 140
6.4 Metode de calcul plastic 141
6.5 Metode numerice de calcul neliniar 141
6.6 Metode practice de calcul 142
6.6.1 Calculul plăcilor continue, armate pe o direcție 142
6.6.2 Calculul plăcilor armate pe două direcții independente, rezemate pe patru laturi, cu colțurile fixate 142
6.6.3 Calculul plăcilor continue armate pe două direcții 143
6.7 Exemple de calcul 146
Exemplul 6.7.1: Placă continuă armată pe o direcție din beton armat monolit 146
Exemplul 6.7.2: Placă independentă din beton armat monolit, armată bidirecțional, rezemată pe patru laturi, cu colțurile fixate 148
Exemplul 6.7.3: Plăci continui armate pe două direcții din beton armat 150
Anexa I 164
Anexa II 168
Anexa III 171
Anexa IV 173
BIBLIOGRAFIE 177